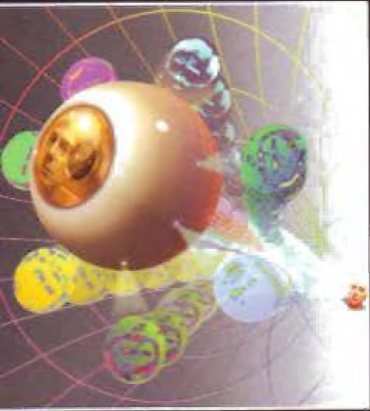


المجلد 23 - العددان 8/7
يوليو/أغسطس 2007

SCIENTIFIC
AMERICAN
July / August 2007



الأفلام السينمائية
في عيوننا



لعبة مازق المسافرين



طرق أفضل
لاستهداف الألم

مجلة العلوم

الترجمة العربية لمجلة ساينس أمريكان
تصدر شهرياً في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

استخدام الهيدروجين كوقود للسيارات



العددان 232/231 - السبع 1.500 دينار كويتي

* الحدود المنطقية والرياضياتية

* هل هناك شفاء من الكلب ؟

* البحث عن الكود العصبي

* قوة المحولات الربيبية

* السيليكون يصدر حزمًا ليزيرية.

ترجمة في مراجعة

المقالات

نظرية المباريات

لعبة مازق المسافرين

<K> ياسو

خضر الاحمد - عدنان الحموي

غالبًا ما يرفض لاعبو هذه اللعبة البسيطة الخيار العقلاني. وفي واقع الأمر، فإن تصرفهم اللامنطقي هذا يجعلهم في نهاية المطاف من الفائزين بجائزة أكبر - وهذه نتيجة تتطلب نوعًا جديدًا من المحاكاة الصورية (التفكير الصوري).



4

علم الدماغ

البحث عن الكود العصبي

<A.M> نيكوليليس - <S> ريبير

زياد القطب - محمد توفيق الرخاوي

إن معرفة الكيفية التي نُقلت وفقها الجردان من القطط، تكشف كيف تُترجم إلى معلومات عاصفة من النبضات تكتسح الدماغ.



10

طاقة

استخدام الهيدروجين

كوقود للسيارات

<S> ساتيايال - <J> بينروفينش - <G> توماس

عبدالحليم منصور - نزار الرئيس

يعمل الباحثون اليوم على إيجاد سبل تُمكن السيارات التي تعمل بخلايا الوقود، من التزود بالهيدروجين الذي تحتاج إليه لقطع مسافات طويلة.



18

طب

هل هناك شفاء من الكَلْب ؟

<F.R> ويلوكباي جونير

أحمد الكفراوي - محمد صادق فرعون

إن بقاء مراهقة على قيد الحياة بعد إصابتها بالكَلْب ربما يشير إلى طريقة لمعالجة هذا المرض المروع.



26

علم الأحافير

ثدييات أمريكا الجنوبية المفقودة

<J.J> فلانين - <K.A> وايس - <R> تشاريير

فؤاد العجل - عبدالقادر عابد

تجمع غير متوقع لأحافير ثديية فريدة يُبطل أفكارا بقيت راسخة مدّة طويلة حول التاريخ الجيولوجي لأمريكا الجنوبية.



34

حدود العلم

الحدود المنطقية والرياضياتية

<P.J> بولاهاي

أبو بكر سعدالله - عدنان الحموي

تحديات عديدة واجهت علماء الرياضيات عبر التاريخ، وقد تطلب بعضها قرونا من الجهد للتغلب عليها. ويرى <P.J> بولاهاي أن اكتشاف استحالات أساسية وإثباتها يعدّان جزءًا من أبرز عناصر التقدم في هذا المضمار



42

«مجلة العلوم» تصدر شهرياً في الكويت منذ عام 1986 عن «مؤسسة الكويت للتقدم العلمي» وهي مؤسسة أهلية ذات نفع عام يرأس مجلس إدارتها صاحب السمو أمير دولة الكويت، وقد أسست عام 1976 بهدف المعاونة في التطور العلمي والمحصاري في دولة الكويت والوطن العربي، وذلك من خلال دعم الأنشطة العلمية والاجتماعية والثقافية. «مجلة العلوم» هي في ثلاثة أرقام مستوياتها ترجمة لمساهمات أعلام العلم التي تعتبر من أهم المنشآت العلمية في عالم اليوم. ولتسعى هذه التحفة منذ نشأتها عام 1845 إلى تمكين القارئ غير المتخصص من متابعة تطورات معارف عصره العلمية والثقافية وتوفير معرفة شاملة للقارئ. التخصص حول موضوع تخصصه. تصدر «مسابقات» أمريكان، بشان عشرة لغة عالية وتتميز بعرضها الشيق للمواد العلمية المتقدمة واستخدامها القيم للصور والرسوم الملونة والحدائق.

بيولوجيا جزيئية

قوة المحولات الربيبية

< F J > ياريد - < R K > تريكر

هاني رزق - محمد عبدالحميد شاهين

إن قطع الرنا RNA المكتشف حديثاً، والتي تعمل مثل محولات تُفعل الجينات أو تثبطها، قد تصبح أهدافاً لأصناف جديدة من العقاقير.



46

ابتكارات

طرق أفضل لاستهداف الألم

< N > ستينكس

سامي القباني - عدنان الحموي

إن تعميق فهمنا للطرق الكيميائية التي يعمل بها الدواء، إن الأسبرين والفيتوكس. قد يؤدي إلى إنتاج أدوية لتسكين الألم مفعولها أفضل مما هو متوافر حالياً.



54

علم الأعصاب

الأفلام السينمائية في عيوننا

< F > ويرلين - < H > روسكا

محمد توفيق الرخاوي - زياد القطب

تعالج الشبكية معلومات تفوق كثيراً ما تخيلها أي شخص على الإطلاق. مرسلّة ستة أفلام سينمائية مختلفة إلى الدماغ



58

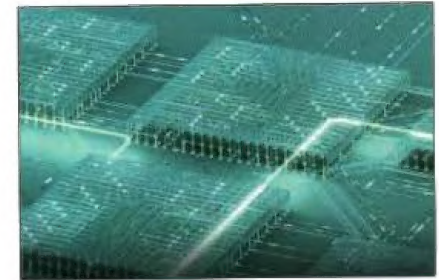
تقانة المعلومات

السيليكون يصدر حرماً ليزرية

< بهرام جلالتي >

رياض صابوني - بسام المعصراني

وأخيراً، تمكن العلماء من حث السيليكون على إصدار حزم ليزرية. وبعد سنوات قليلة سوف تتعامل الحواسيب والأجهزة الأخرى مع الضوء كما تتعامل مع الإلكترونات



66

78 معرفة عملية

حشيش ذو تقانة رفيعة Hi-tech

80 اسألوا أهل الخبرة

- كيف يقتفي الباحثون أثر دنا DNA الميتوكوندريات ؟
- كيف تتشكل القواقع البحرية، أو كيف تتشكل قوقعة الحلزون ؟

81 أخبار علمية

ضربة فاضية في درجات الحرارة العالية

74 عروض ومراجعات كتب

- كتابان جديان يقولان إن الوقت قد حان لإسقاط نظرية الأوتار
- هل الجمال حقيقة والحقيقة جمال.

77 تنميات مستدامة

بوسع الخطوات الراسخة المتخذة حالياً أن تضع سريعاً أشد الناس فقراً على درب الاعتماد على الذات.

لعبة مأزق المسافر^(١)

بشدة، يرفض لاعبو هذه اللعبة البسيطة الخيار العقلاني. وفي واقع الأمر، فإن تصرفهم اللامنطقي هذا يجعلهم في نهاية المطاف من الفائزين بجائزة أكبر - وهذه نتيجة تتطلب نوعاً جديداً من المحاكمة الصورية^(٢).

<باسو>

يعتمدها، والتي تقدم فيها مكافآت وفقاً لتلك الخيارات، يُسمى من قبل الناس الذين يدرسونها (وهم الباحثون في نظرية المباريات^(٣)) «العباءة». وقد صممت هذه اللعبة «مأزق المسافر»^(٤) (TD) عام 1994 وفي ذهني عدة أهداف أهمها: تقنين النظرة الضيقة للسلوك العقلاني^(٥) والعمليات الإدراكية^(٦) التي يتجهها الاقتصاديون وكثير من المتخصصين في العلوم السياسية، وتحدي الفرضيات المؤيدة لمذهب الحرية الاقتصادية^(٧) التي ينطلق منها علم الاقتصاد التقليدي، وتبسيط الضوء على مُحيرة^(٨) منطقية للعقلانية^(٩).

وتحقق لعبة «مأزق المسافر» هذه الأهداف، لأن منطق هذه اللعبة يقتضي أن يكون العدد 2 الخيار الأفضل، مع أن معظم الناس ينتقون العدد 100، أو عدداً قريباً من 100 - وهاتان فئتان من الناس، عناصر أولاهما لم يفكروا منطقياً، وعناصر الفئة الأخرى يدركون تماماً أنهم منحرفون كثيراً عن الاختيار «العقلاني». إلى ذلك، يجني اللاعبون مكافأة أعلى بعدم تمسكهم بالمنطق بهذه الطريقة. لذا، ثمة شيء عقلاني في اختيار اللاعقلانية في لعبة مأزق المسافر.

وفي السنوات التي انقضت منذ تصميمي للعبة مأزق المسافر، حظيت هذه اللعبة باهتمام بالغ، إذ قام الباحثون بتوسيعها، وإعلان اكتشافاتهم التي حصلوا عليها بعد التجارب المخبرية. وقد ولدت هذه الدراسات تبصيرات في اتخاذ الناس لقراراتهم. ومع ذلك، فما زال ثمة أسئلة مفتوحة عن الطريقة التي يُطبق بها المنطق والمحاكمة العقلية على لعبة مأزق المسافر.

الحصافة^(١٠) والعالم ناش^(١١)

لعرفة السبب في أن 2 هو الخيار المنطقي، لننظر في خط التفكير، المقبول ظاهراً، الذي قد تسلكه لوسي. فكرتها الأولى هي

Overview/ Senseless Irrationality (***)

game theorists (1)
Traveller's Dilemma (1)
cognitive processes (1)
paradox (1)

THE TRAVELER'S DILEMMA (**)
Common Sense and Nash (***)
formal reasoning (1)
games (3)
rational behavior (2)
libertarian presumptions (7)
rationality (4)

common sense (10)
الحسن العام أو الفطرة السليمة

(11) John F. Nash (1928/13/6) | أحد العلماء الأمريكيين في الرياضيات وتحديدًا في نظرية المباريات، الهندسة التفاضلية والمعادلات التفاضلية الجزئية. حاز عام 1994 على جائزة نوبل في الاقتصاد مشاركة مع باحثين آخرين في نظرية المباريات. وقد اشتهر شعبياً بعنقريته في الرياضيات وصراعه مع الفصام schizophrenia (التحرير)

بعد عودة «لوسي» و«باسل» من جزيرة نائية في المحيط الهادئ، وجدوا أن شركة الخطوط الجوية، التي سافروا على إحدى طائراتها، أتلقت القطع الأثرية المتطابقة التي اشتراها كل منهما. وقال أحد مديري تلك الشركة إنه سعيد بدفع تعويض لهدئين الركاب، لكنه عاجز عن تقدير قيمة هذه الأشياء الغريبة. وهو يرى أن مجرد سؤال المسافرين عن السعر لا يُجدي نفعاً، لأنهما سيبالغان في تقدير قيمة تلك القطع.

لذا فقد وضع ذلك المدير خطة أكثر تعقيداً، وذلك بأن يطلب إلى كل منهما كتابة سعر القطع، بحيث يكون الثمن عدداً صحيحاً من الدولارات يقع بين 2 و100، من دون أن يتشاورا حول ذلك. فإذا سجل العدد نفسه، قبله المدير باعتباره السعر الحقيقي، ومن ثم يدفع لكل منهما المبلغ المقابل. أما إذا سجل عددان مختلفين، فسيفترض المدير أن العدد الأقل هو السعر الحقيقي، وأن الشخص الذي سجل العدد الأكبر قام بعملية غش. وفي هذه الحالة، يدفع لكل منهما العدد الأقل، إضافة إلى مكافأة وغرامة - فالشخص الذي كتب العدد الصغير، يكافأ بزيادة دولارين على المبلغ الذي قدمه لأمانته. أما ذاك الذي سجل العدد الكبير، فيغرم بخصم دولارين من المبلغ الصغير. وعلى سبيل المثال، إذا كتبت لوسي 46، وكتب باسل 100، حصلت لوسي على 48 دولاراً وباسل على 44 دولاراً.

تُرى، ما هما العددان اللذان سيكتبهما باسل و لوسي؟ وما هو العدد الذي تكتبه أنت؟

هذا النوع من السيناريوهات، التي يتاح فيها لفرد أو أكثر، خيارات

نظرة إجمالية/ اللاعقلانية المدركة بالإحساس^(١٢)

- في لعبة مأزق المسافر، يختار شخصان، كل على حدة، عدداً صحيحاً من 2 إلى 100، ويكافأ الشخص الذي عدده أصغر بمبلغ أكبر من المال. وتؤكد نظرية المباريات أن العقلانية يجب أن تقود اللاعبين إلى اختيار العدد 2، لكن معظم الناس ينتقون عدداً صحيحاً قريباً من 100.
- والتوصل إلى فهم دقيق للاختيار العقلاني إلا نكون عقلانيين، يحتاج إلى نوع جديد من المحاكمة العقلية.
- إن نتائج (لعبة) مأزق المسافر تناقض افتراض الاقتصاديين بأن نظرية المباريات قادرة على التنبؤ بالطريقة التي يُفترض أن يتصرف بها الناس العقلانيون الأنانيون. وتبين هذه النتائج أيضاً، أن الأنانية لا تعود دائماً على الذين يتصرفون بها بغوائد اقتصادية جيدة.

أنها يجب أن تكتب أكبر عدد ممكن، وهو 100، الذي يجعلها تحصل على 100 دولار إذا كان باسل طماعا مثلها (إذا كان ثمن القطع الأثرية حقا أقل كثيرا من 100 دولار، فإنها ستفكر الآن بسرور في غباء خطة مدير شركة الخطوط الجوية).

بيد أن ما طرا على بالها سريعا أنها لو كتبت 99 بدلا من 100، فستجني مبلغا أكبر قليلا من الدولارات، لأنها ستحصل، في تلك الحالة، على 101 دولار لكن هذه الفكرة ستخطر، قطعاً، ببال باسل، فلو كتب كلاهما 99 لحصلت لوسي على 99 دولاراً ولو كتب باسل 99، لكان من الأفضل لها كتابة 98، لأنها ستحصل، في هذه الحالة، على 100 دولار غير أن هذا المنطق نفسه سيقود باسل إلى اختيار العدد 98 أيضاً وفي تلك الحالة، يمكنها كتابة 97 والحصول على 99 دولاراً. وهكذا إن الاستمرار في هذا الخط من المحاكاة العقلية، سيجعل المسافرين ينزلان إلى أصغر عدد مسموح به، وهو 2. وقد يبدو أن من المعقول جداً أن تسلك لوسي، فعلاً، كل الطريق الذي يؤدي إلى 2 لدى اتباعها هذا الأسلوب. وهذا ما يقودنا إليه المنطق

وعموماً، يستعمل المتخصصون في نظرية المباريات هذا النمط من التحليل، الذي يُسمى استقراءً تراجعياً⁽¹⁾ ويتنبأ الاستقراء التراجعي بأن كل لاعب سيكتب 2، وأن الطاف سينتهي بكل منهما إلى الحصول على دولارين (وهذه نتيجة قد تفسر السبب في نجاح مدير شركة الطيران في عمله بالشركة). وعملياً، تتنبأ جميع النماذج⁽²⁾ التي يستعملها العلماء في نظرية المباريات بالوصول إلى هذه النتيجة في لعبة «مازق المسافر» - وهي أن اللاعبين يحصلان على مبلغ أقل بمقدار 98 دولاراً مما يحصلان عليه لو احتار كل منهما ببساطة 100 دولار من دون أن يفكرا ملياً بالفوائد التي يجنيانها من انتقانهما عدداً أصغر.

وترتبط لعبة مازق المسافر بلعبة مازق السجين⁽³⁾ الأكثر انتشاراً بين الناس، التي استُجوب فيها مشبوهان بارتكاب جريمة خطيرة. كل على انفراد، وكان يحق لكل منهما تجريم الآخر (مقابل تساهل السلطات معه) أو البقاء صامتا (وهذا لا يوفر للشرطة أدلة ملائمة



للبت في القضية، وذلك إذا بقي السجين الآخر صامتا أيضاً) وتبدو هذه الحكاية مختلفة جداً عن قصة المسافرين اللذين تضررت قطعهما الأثرية، لكن رياضيات المكافآت لكل خيار في «مازق السجين»، مطابقة لرياضيات المكافآت في «مازق المسافر»، التي يسمح فيها لكل لاعب أن يختار 2 أو 3 فقط. بدلا من أي عدد صحيح من 2 إلى 100.

وفي نظرية المباريات، يحلل العلماء الألعاب بعيداً عن زخارف القصص النابضة بالحياة، وذلك بدراسة ما يسمى مصفوفة المكاسب⁽⁴⁾ لكل لاعب - وهي شبكة مربعة تحوي جميع المعلومات ذات الصلة عن الخيارات والمكاسب⁽⁵⁾ المحتملة لكل لاعب [انظر الموتر في الصفحة 7] ويقابل اختيار لوسي سطر⁽⁶⁾، واختيار باسل عمود⁽⁷⁾ ويحدد العددين في المربع المختار مكافأتهما.

وعلى الرغم من الاختلاف في الأسماء، فإن «مازق السجين»، وما ذكرناه عن اختيار 2 في «مازق المسافر»، يقدمان لاعبين لا يواجهان مزقاً حقيقياً، ويرى كل مشارك خياراً صحيحاً لا لبس فيه. وهو 2 (أو، تجريم الشخص الآخر، عند عرض قصة السجين) يسمى هذا الخيار الخيار المسيطر⁽⁸⁾، لأنه أفضل ما يمكن عمله، بصرف النظر عما يفعله اللاعب الآخر. وباختيار لوسي 2 بدلا من 3، فإنها تحصل على 4 دولارات بدلا من 3 دولارات إذا اختار باسل 3، وتحصل على دولارين اثنين بدلا من لا شيء، إذا اختار باسل 2

وبالمقابل، لا يوجد للرواية الكاملة لمازق المسافر خيار مسيطر. فإذا اختار باسل 2 أو 3، فافضل ما تفعله لوسي هو اختيار 2 لكن إذا اختار باسل أي عدد من 4 إلى 100، فالأفضل للوسي هو اختيارها عدداً أكبر من 2

وعند دراسة مصفوفة المكاسب، فإن علماء نظرية المباريات يعتمدون غالباً على توازن ناش⁽⁹⁾، نسبة إلى «F. ناش، جونير»

models (1)
payoff matrix (1)
the dominant choice (1)

backward induction (1)
Prisoner's Dilemma (1)
choices and payoffs (2)
Nash equilibrium (1)



جون إف ناش

تتنبأ نظرية المباريات بأن «توازن ناش» يحدث عندما تؤدي لعبة مأزق المسافرين بأسلوب عقلائي.

وبالطبع، فمأزق المسافرين ليس اللعبة الوحيدة التي تتحدى الاعتقاد بأن الناس يقومون دائما باختيارات عقلانية أنانية لكن ما يثير التاحية الأكثر إدهاشا، هو أنه حتى لو لم يكن كل من اللاعبين معنيا إلا بالقائدة العائدة إليه شخصيا، فليس من المعقول بالنسبة إليهما اللعب بالطريقة التي يتنبأ بها التحليل الصوري

ولمأزق المسافرين نتائج أخرى في فهمنا لأوضاع عالمنا الحقيقي فاللعبة تسلط الضوء على الطريقة التي يجري وفقها سباق التسليح، بوصفه عملية تدريجية تسير بنا بخطوات صغيرة لتوصلنا إلى نتائج تتزايد سوءا وقد حاول علماء نظرية المباريات أيضا، توسيع مأزق المسافرين لفهم الطريقة التي تسلكها شركتان متنافستان، تجبر كل منهما الشركة الأخرى على تخفيض أسعارها، مما يؤدي إلى إلحاق الضرر بهما (مع أن ذلك يصب، في هذه الحالة، في مصلحة المستهلكين الذين يشترون بضائع من تلك الشركتين)

وقد أدت جميع هذه الاعتبارات إلى طرح سؤالين: كيف يلعب الناس فعليا هذه اللعبة؟ وإذا اختار معظم الناس عددا أكبر كثيرا من 2، فهل بمقدورنا تفسير سبب فشل نظرية المباريات في التنبؤ بذلك؟ فيما يتعلق بالسؤال الأول، فنحن نعرف الآن الكثير عنه أما السؤال الآخر، فلا نعرف عنه سوى القليل.

كيف يتصرف الناس في الواقع⁽¹⁾

خلال العقد الماضي، أجرى الباحثون كثيرا من التجارب على مأزق المسافرين، وتوصلوا إلى كثير من المعلومات الجوهرية عن هذه اللعبة. وثمة تجربة مختبرية شهيرة، استُعملت فيها قطع نقود حقيقية من قبل طلبة كلية الاقتصاد، بوصفهم لاعبين. نفذ التجربة في جامعة فرجينيا كل من «M. كاي» و «K. كويري» و «R. كوميذ» و «A. هولت». دُفع للطلبة 6 دولارات للمشاركة، واحتفظوا بأي نقود إضافية كسبوها في اللعبة. ولتسهيل التعامل، كانت الخيارات تقدر بالسنوات بدلا من الدولارات، وكان مجال الخيارات محددًا بين 80 و 200، وكانت قيمة الغرامة والمكافأة تتغير في المراحل المختلفة للعبة، من مبلغ صغير قدره 5 سنتات، إلى آخر كبير قدره 80 سنتا. وقد أراد المجرّبون معرفة ما إذا كان لتغيير حجم الغرامة والمكافأة أهمية في طريقة أداء اللعبة. إن تغيير حجم المكافأة والغرامة لا يغير أيا من التحليلات الصورية؛ فالاستقراء التراجعي يؤدي دائما إلى النتيجة (80، 80)، وهي توازن ناش في كل حالة.

لقد أثبتت التجربة التوقع الحدسي بأن اللاعب المتوسط لا يطبق استراتيجية توازن ناش 80. وعندما كانت قيمة المكافأة 5 سنتات، كان متوسط اختيار اللاعبين هو 180؛ وهذا الاختيار تدنى إلى 120 عندما ارتفعت المكافأة إلى 80 سنتا.

[من جامعة برنستون] (قدّم R. كرو) العالم «ناش» في الفيلم السينمائي *A Beautiful Mind* وتوازن ناش نتيجة يستخلص منها أنه ما من لاعب يمكنه تحسين أدائه عندما ينحرف انحرافا احادي الجانب. لننظر في النتيجة (100، 100) في مأزق المسافرين (العدد الأسير هو اختيار لوسي، واليمين اختيار باسل)، فإن غيرت لوسي اختيارها إلى 99، فستكون النتيجة (99، 100)، وعندئذ تحصل على 101 دولار. ولكن لوسي أفضل حالا بهذا التغيير، فإن النتيجة (100، 100) لا تمثل توازن ناش.

يوجد لمأزق المسافرين توازن واحد فقط لناش - وهي النتيجة (2، 2)، التي اختار وفقا لها كل من لوسي وباسل العدد 2. إن الاستعمال الكثير لتوازن ناش هو السبب الرئيسي في تنبؤ كثير من التحليلات بهذه النتيجة في مأزق المسافرين

ولدى المتخصصين في نظرية المباريات مفاهيم توازن أخرى هي التوازن الشديد⁽²⁾ والحل القابل للعقلنة⁽³⁾ والتوازن النام⁽⁴⁾ والتوازن القوي⁽⁵⁾، وغير ذلك. ويؤدي كل من هذه المفاهيم إلى التنبؤ بـ (2، 2) في حال مأزق المسافرين وهنا تكمن المشكلة فمعظمنا يحد نفسه مدفوعا بإحساس يوجهه إلى اللعب بعدد أكبر كثيرا، وأنه سيحصل، في المتوسط، على مبلغ أكبر كثيرا من دولارين ويبدو أن حدسنا مخالف لنظرية المباريات كلها

اقتضاءات في علم الاقتصاد⁽⁶⁾

إن اللعبة وتنبؤها الحدسي لنتيجتها يناقضان أيضا أفكار الاقتصاديين. لقد كان علماء الاقتصاد في وقت مبكر مشدودين بقوة إلى الفرضيات المؤيدة لمذهب الحرية الاقتصادية، التي تقضي بترك الأفراد مسيرين بإراداتهم ورغباتهم الخاصة. لأن خياراتهم الأنانية ستجعل الاقتصاد يعمل بفاعلية. لكن بروز طرائق نظرية المباريات أدى دورا كبيرا في تحرير علم الاقتصاد من هذه الفرضيات. غير أن هذه الطرائق ظلت طويلا مستندة إلى مسلمة⁽⁷⁾ مفادها أن الناس يُقدّمون على خيارات عقلانية أنانية يمكن لنظرية المباريات التنبؤ بها. بيد أن مأزق المسافرين يقوض كلا من فكرة مذهب الحرية الاقتصادية، التي تقول إن الأنانية غير المقيدة مفيدة للاقتصاد، وعقيدة نظرية المباريات بأن الناس سيكونون أنانيين وعقلانيين.

تقضي النتيجة «الفعالة» في مأزق المسافرين بأن يختار كلا المسافرين 100: لأن ذلك يؤدي إلى حصول كلا اللاعبين على الحد الأعلى لمجموع ما يكسبانه. أما أنانية الحرية الاقتصادية فتستجمل الناس ببتعدون عن 100 إلى أعداد أصغر بفاعلية أقل. أملا منهم في الحصول على مبلغ أكبر، كل على حدة.

وإذا لم يقدّم الناس باستعمال استراتيجية توازن ناش (2، 2)، فإن افتراضات الاقتصاديين، المتعلقة بالسلوك العقلاني يجب مراجعتها

How People Actually Behave (1) rationalizable solution (2) strong equilibrium (3)

Implications for Economics (4) strict equilibrium (5) perfect equilibrium (6) axiom (7)

مصفوفة المكاسب في «مازق المسافرين»^(١)

وتنتيجة اختيار كلا اللاعبين 2 وحصول كل منهما على دولارين (اللون الذهبي)، تسمى توازن ناش Nash equilibrium. ويكون أداء لوسي أسوأ (لأنها تكسب 0 دولار) إذا اختارت أي عدد آخر وواصل باسل اختياره للعدد 2. وبالمثل، فإن أداء باسل يكون أسوأ إذا اختار وحده عددا ما غير العدد 2 وعندما تُقصر الخيارات على 2 و 3 فقط [المستطيل الأسود اللون]. تصبح اللعبة مكافئة للعبة مازق السجين

توفر مصفوفة المكاسب^(٢) هذه لعلماء نظرية المباريات جميع ما يحتاجون إلى معرفته عن لعبة مازق المسافرين فاخترت لوسي الخطة مبنية في العمود الموجود في أقصى اليسار، أما اختيارات باسل فهي في السطر العلوي وأول عدد في المربع الذي يتقاطع فيه السطر والعمود المختاران هو مكسب لوسي. والعدد الثاني هو مكسب باسل. فمثلا، إذا اختارت لوسي 98 وباسل 99، فإن لوسي تستلم 100 دولار. وباسل يستلم 96 دولارا



اختيار لوسي (بالدولارات)

اختيار باسل (بالدولارات)	2	3	4	...	98	99	100
2	2 2	4 0	4 0	...	4 0	4 0	4 0
3	0 4	3 3	5 1	...	5 1	5 1	5 1
4	0 4	1 5	4 4	...	6 2	6 2	6 2
...
98	0 4	1 5	2 6	...	98 98	100 96	100 96
99	0 4	1 5	2 6	...	96 100	99 99	101 97
100	0 4	1 5	2 6	...	96 100	97 101	100 100

قسم «روبنشتاين» الاختيارات الممكنة إلى أربع مجموعات محتملة من الأعداد، ووضع فرضية تقضي بأن ثمة عملية إدراكية مختلفة تكمن وراء كل منها. فالعدد 300 هو استجابة عاطفية عفوية واختيار عدد يقع بين 295 و 299 يتضمن محاكمة عقلية استراتيجية (مثلا، قدرا معينا من الاستقراء التراجعي). وأي عدد من 181 إلى 294 يصلح، إلى حد ما، ليكون اختيارا عشوائيا. وأخيرا، فنظرية المباريات تفسر سبب اختيار 180، لكن اللاعبين ربما توصلوا إلى ذلك العدد بأنفسهم، أو ربما كان لديهم معرفة سابقة باللعبة.

وثمة اختبار لمُخَفِّعة روينشتاين^(٣)، المتعلقة بالمجموعات الثلاث الأولى. لرؤية المدة التي استغرقها كل لاعب لاتخاذ قرار. وفي الحقيقة، فأولئك، الذين اختاروا من 295 إلى 299، استغرقوا وسطيا أطول وقت (96 ثانية). في حين أن من اختار من 181 إلى 294 أو 300 استغرق قرابة 70 ثانية - وهذا ينسجم مع فرضية روينشتاين القائلة إن الناس الذين اختاروا من 295 إلى 299 فكروا أكثر من أولئك الذين اعتمدوا خيارات أخرى

لقد أجرى المتخصصون في نظرية المباريات عددا من المحاولات لتفسير عدم اختيار عدد كبير من اللاعبين توازن ناش في لعبة مازق المسافرين. وقد حاج بعض المحللين في أنه ثمة كثير من الناس غير قادرين على القيام بالمحاكمة الاستنتاجية الضرورية، ومن ثم فهم يعتمدون اختيارات غير عقلانية عن غير علم. ولا بد أن يكون هذا التفسير صحيحا في بعض الحالات، لكنه لا يفسر جميع النتائج، كذلك التي حصل عليها عام 2002 < بيكر> و < م> كارتر< و < ج> نايف<، الذين كانوا جميعا حينذاك في جامعة هوهنهايم بألمانيا. وفي التجربة التي أجروها، لعب 51

درست «كايرا» وزملاؤها، أيضا، كيف يمكن أن يتغير سلوك اللاعبين نتيجة ممارسة لعبة مازق المسافرين مرارا وتكرارا. فهل يتعلمون اختيار توازن ناش، حتى لو لم يكن هذا حدسهم الأول؟ وفعلًا، عندما كانت المكافأة كبيرة، كان اللعب بمرور الوقت، يتقارب نزولا من توازن ناش 80. بيد أن ما يثير الاستغراب هو أنه عندما كانت المكافآت ضئيلة، كان الاختيار يتزايد باتجاه الحد الأقصى المقابل، وهو 200

تلقت حقيقة كون الناس لا يختارون، في الغالب، توازن ناش، مزيدا من الدعم من تجربة جرت عن طريق الإنترنت، لم تقدم فيها دفعات مالية حقيقية، نفذها < أ> روينشتاين< [من جامعة تل أبيب وجامعة نيويورك] منذ عام 2002 إلى عام 2004. وقد تطلبت اللعبة من اللاعبين، الذين كانوا سيحضرون إحدى محاضرات روينشتاين عن «نظرية المباريات وناش»، اختيار عدد صحيح بين 180 و 300، كان عليهم اعتباره مقدرا بالدولارات، وكان مقدار المكافأة/ الغرامة محددا بخمسة دولارات

وقد استجاب نحو 2500 شخص من سبع دول، مما هيأ للتجربة حجم عينة كبيرا وتنوعا واسعا لا يمكن توفيره في المختبر. وقد اختار أقل من سبعة عدد اللاعبين توازن ناش 180. واختار معظمهم (55 في المئة) العدد الأكبر 300 [انظر الموتر في الصفحة 8]. وما أثار الدهشة هو أن البيانات كانت متشابهة جدا في الزمر الجزئية المختلفة، مثل الناس المنتمين إلى دول مختلفة.

لكن عمليات التفكير التي تولد هذا النمط من الاختيارات تظل غامضة. وبوجه خاص، كان أكثر الاستجابات شيوعا (300) هو الاستراتيجية الوحيدة التي «سيطرت» في اللعبة - وهذا يعني استراتيجية أخرى (299) لا يمكن أن تفعل أسوأ من ذلك، وتكون أحيانا أفضل

Payoff Matrix of the Traveler's Dilemma (١)
Rubenstein's conjecture (٢)
payoff matrix (٣)

نظرية المباريات مقابل نظرية اتخاذ القرار العادية : أنا أعرف أنك تعرف أنني أعرف ...^(*)

استيقظ، أصيب بالفزع حين اكتشف أن القرو أخذت جميع قبعاته إلى أعلى الشجرة. وإذا ذا تذكر حكاية جده، ومن ثم قذف بقبعته التي كانت على رأسه إلى الأرض، لكن، وبسبب خفي، لم ير أي من القرو أي قبعة، وقام واحد فقط من القرو بالنزول إلى الأرض، ثم أمسك بالقبعة بقوة، واتج نحو يافع القبعات، ووجه إليه صفعة عنيفة وقال «هل تظن أنك الوحيد الذي له جده»

توضح هذه الحكاية اختلافا مهما بين نظرية اتخاذ القرار العادية ونظرية المباريات. ففي النظر الأخيرة، ما هو عقلاني للاعب قد يعتمد على ما

سمعت هذه الحكاية في الهند. فعندما كان يافع قبعات يصحو من قيلولته تحت إحدى الأشجار، وجد أن مجموعة من القرو نقلت جميع قبعاته إلى أعلى الشجرة. عند ذلك انتابته نوبة غضب، وألقى بقبعته التي كان يعتمرها على الأرض. وما إن رأت القرو - المعروف عنها حبها للتقليد - ما فعل الرجل، حتى رمت جميع القبعات على الأرض، وإذا ذاك، سارع البائع بجمعها.

بعد نصف قرن من هذا الحادث، وضع حفيد البائع - الذي هو أيضا، بائع قبعات - بضاعته تحت الشجرة نفسها لينعم بقسط من القيلولة، وعندما



تضمنت اللعبة نظام مكافآت نقدية. يختار المجرمون لاعبا بطريقة عشوائية ليبيع 20 دولارا مضروبا بالعدد المقابل لمتوسط ربح هذا اللاعب في اللعبة وهكذا فإن الفائز، الذي كان متوسط ربحه 85 دولارا، حصل على 1700 دولار

ومن بين اللاعبين الذين عددهم 51، اختار 45 منهم عددا وحيدا لاستعماله في كل لعبة (أما الستة الآخرون، فاخاروا أكثر من عدد واحد). ومن بين هؤلاء الذين عددهم 45، لم يختار توازن ناش (2) إلا ثلاثة منهم. واختار عشرة منهم الاستراتيجية (100)، كما اختار 23 منهم أعدادا من 95 إلى 99. ومن المفترض أن يعرف المتخصصون في نظرية المباريات كيف يفكرون استنتاجيا، لكنهم، عموما، لم يعتمدوا الاختيار العقلاني الذي تمليه نظرية المباريات المنهجية.

ولو نظرنا إلى الأمر بطريقة سطحية، لبدأ لنا أن تفسير اختياراتهم بسيط، وهو أن معظم المشاركين توصلوا إلى حكم حصيف بأن نظراهم سيختارون أعدادا من شريحة التسعينات العالية، لذا فاختار عدد كبير، بوجه مشابه. يؤهلهم لكسب أعلى عائد متوسط لكن، لماذا توقع كل شخص أن يختار كل شخص آخر عددا كبيرا؟

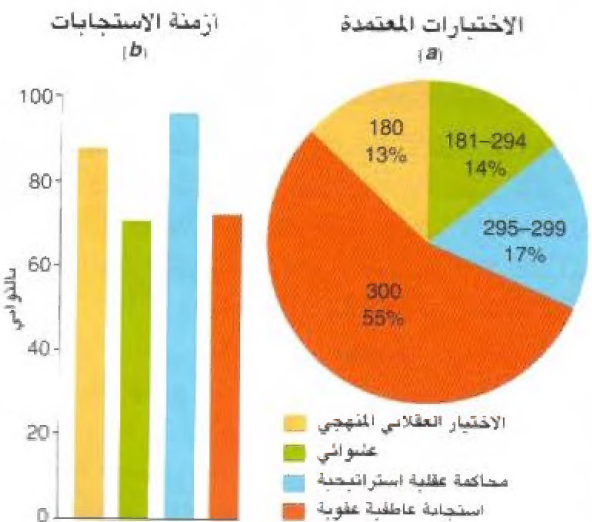
ربما كانت الغيرية "مفروسة بقوة في نفوسنا جنبا إلى جنب مع الأنانية، لذا فسلوكنا حصيلية صراع بينهما. نحن نعرف أن مدير شركة الخطوط الجوية سيدفع أكبر قدر من المال إذا اختار كلاهما 100 وكثير منا لا يرضى أن "يخذل" رفيقه في السفر ليبيع مجرد دولار إضافي، لذا فتحن نختار 100، حتى لو كنا ندرك تماما، عن سابق تفكير، أن 99 خيار أفضل لنا كأفراد.

ولقطع شوط أبعد في تفسير المزيد من أنماط السلوك التي نرى في مثل هذه التجارب، قدم بعض الاقتصاديين افتراضات قوية، لكنها لا تحظى بقدر عال من الواقعية، ثم استخلصوا السلوك المرصود من نماذج معقدة. وإنني لا اعتقد أننا سنتعلم الكثير من هذا الأسلوب ومع تحول هذه النماذج والافتراضات لتصبح أعقد من أن تكون ملائمة للبيانات، فإنها توفر لنا بصيرة تضعف قوتها مع الزمن

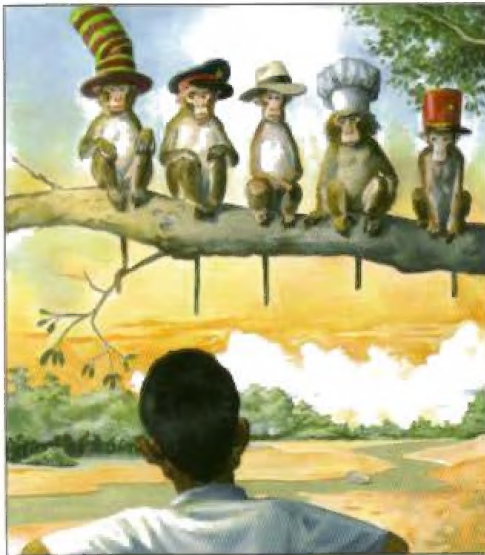
عضوا من جمعية نظرية المباريات - وجميعهم عمليا متخصصون محترفون في هذه النظرية - اللعبة الأصلية في مأزق المسافر، من 2 إلى 100. وقد لعب كل منهم مع نظرائه الخمسين الآخرين، وذلك باختيارهم استراتيجية وإرسالها إلى الباحثين. قد تكون الاستراتيجية عددا وحيدا يُستعمل في كل لعبة، أو استعمال تشكيلة من الأعداد، واعتماد عدد مرات استعمال كل منها. وقد

ما الذي كانوا يفكرون فيه؟^(**)

افترض الباحثون أن عمليات التفكير المختلفة تكمن وراء الأنماط المختلفة من الخيارات التي اعتمدها الناس في لعبة مأزق المسافر، التي نمت فيها الخيارات من 180 إلى 300 [الرسم البياني (a)] فعندما تكون استجاباتهم عاطفية وعموية، يختارون 300. أما إذا كان الاختيار نتيجة تفكير استراتيجي، فهم يختارون [299/299]، وأما إذا كان عشوائيا، فيختارون [181-294] إن اللاعبين، الذين يعتمدون خيارا عقلانيا صوريا [180]، ربما يكونون قد استنجدوا أو عرفوه مسبقا وكما هو متوقع، فالناس الذين يعتمدون خيارات "عفوية" أو "عشوائية"، يستغرقون في عملية اختبارهم الفترات الزمنية الأقصر [الرسم البياني (b)]



Game Theory vs. Ordinary Decision Theory: I Know that You Know that I Know ... (a)
What Were They Thinking? (b)
altruism (1)



وإني أعتقد أن الافتراض بأن العقلانية معرفة مشتركة هي مصدر التعارض بين المنطق والحدس وبيان الحدس، في حالة لعبة مازق المسافر، سليم، وهو بانتظار إثبات صحته من خلال منطق أفضل. والمشكلة شبيهة بما حدث في وقت مبكر من نشوء نظرية المجموعات. ففي ذلك الوقت، كان الرياضياتيون يقبلون بأن وجود المجموعة الشاملة^(١) - وهي المجموعة التي تحوي كل شيء - شيء مسلم به. فقد بدت المجموعة الشاملة طبيعية وواضحة جدا، لكن كثيرا من محيرات نظرية المجموعات نشأت نتيجة افتراض وجود تلك المجموعة، الذي أثبت الرياضياتيون الآن خطؤه. وفي رأيي، فإن المعرفة المشتركة للعقلانية، التي يقبل بها علماء نظرية المباريات، تواجه مصيرا مشابها.

مقلاني للاعب الآخر، فكي تتخذ لوسي قرارها سليم، يجب عليها أن تضع نفسها في موضع اسل، وتفكر فيما يجب أن يفكر فيه. لكنه سيفكر بما تفكر لوسي فيه، وهذا يؤدي إلى عملية تراجع نهائية. ويصف علماء نظرية المباريات هذا الوضع قولهم: «العقلانية هي معرفة مشتركة بين اللاعبين». ويعبارة أخرى، فإن لوسي و باسل قلانيان، وكل منهما يعرف أن الآخر قلاني، وكل منهما يعرف أن الآخر يعرف، وهلم جرا. الافتراض بأن العقلانية معرفة مشتركة أمر شائع في نظرية المباريات، ونادرا ما يُعلن ذلك صراحة. لكنه قد يقحمنما في مشكلات في بعض الألعاب، بل لعبة مازق السجين، التي يمكن للاعبين فيها أن يوفوا بحركات متعارضة مع هذا الافتراض.

مسألة غير محلولة^(٢)

وما يثير الاهتمام أنه يرتبط بهذا الرفض للعقلانية والمنطق نوع من «ما وراء العقلانية»^(٣). وإذا سلك كلا اللاعبين الطريق ما وراء العقلاني هذا، فسيكون كل منهما على ما يرام. وفكرة السلوك المولّد بالرفض العقلاني للسلوك العقلاني شيء يصعب إعطاؤه صيغة معينة. لكن فيه تكمن الخطوة الواجب اتخاذها في المستقبل لحل المحيّرات العقلانية^(٤) التي ترزعج نظرية الألعاب، والمكودة^(٥) في لعبة مازق المسافر.

Unsolvable Problem (٢)
universal set (١)
paradoxes of rationality (٣)
welfare economics (٥)
meta-rationality (١)
codified (٤)
Econometric Society (١)

المؤلف

Kaushik Basu

أستاذ علم الاقتصاد في جامعة كارل ماركس للدراسات الدولية، ومدير مركز علم الاقتصاد التحليلي في جامعة كيرنل نشر عددا كبيرا من المقالات في مجلات أكاديمية تعنى بتطوير علم الاقتصاد، واقتصاد الرخاء^(١)، ونظرية المباريات، والتنظيم الصناعي. وهو يكتب أيضا مقالات في وسائل الإعلام الشعبية. وله عمود شهري في BBC News online وهو زميل في جمعية الاقتصاد القياسي^(٢)

مراجع للاستزادة

On the Nonexistence of a Rationality Definition for Extensive Games, Kaushik Basu in *International Journal of Game Theory*, Vol. 19, pages 33-44, 1990.

The Traveler's Dilemma: Paradoxes of Rationality in Game Theory. Kaushik Basu in *American Economic Review*, Vol. 84, No. 2, pages 391-395; May 1994.

Anomalous Behavior in a Traveler's Dilemma? C. Monica Capra et al. in *American Economic Review*, Vol. 89, No. 3, pages 678-690, June 1999.

The Logic of Backwards Inductions. G. Priest in *Economics and Philosophy*, Vol. 16, No. 2, pages 267-285; 2000.

Experts Playing the Traveler's Dilemma. Tilman Becker et al. Working Paper 252, Institute for Economics, Hohenheim University, 2005.

Instinctive and Cognitive Reasoning. Ariel Rubinstein. Available at arielrubinstein.tau.ac.il/papers/Response.pdf

Scientific American, June 2007

لكن التحدي الباقي ليس هو تفسير السلوك الحقيقي للناس العاديين أمام لعبة مازق المسافرين. ويعود الفضل جزئيا إلى التجارب التي أوضحت أن من المحتمل أن تكون الغيرية والتكيف الاجتماعي، والمحاكمة الخاطئة، هي التي توجه معظم اختيارات الأفراد. غير أنني لا أتوقع أن يختار كثير من الناس 2، إذا استبعدت هذه العوامل الثلاثة جميعها من الصورة. ثرى. كيف نستطيع تفسير ذلك إذا واصل حقا معظم الناس اختيار أعداد كبيرة، ربما في شريحة التسعينات، حتى لو لم يكونوا مفتقرين إلى القدرة على الاستنتاج، وكانوا يكتبون غيرتهم الطبيعية وسلوكهم الاجتماعي كي يلعبوا بقلب قاس، في مسعى للحصول على أكبر قدر ممكن من المال؟ وخلافا للقسم الأكبر من نظرية المباريات الحديثة، الذي يمكن أن يستعمل فيه قدر كبير من الرياضيات، التي يسهل استيعابها من قبل من يعرفون التقنيات الرياضية، فهذا سؤال صعب يتطلب تفكيراً إبداعياً.

لنفترض أنا وأنت اثنين من اللاعبين الحاذقين والقساء القلوب فما الذي يمكن أن يدور بخلدنا؟ أنا أتوقع أنك ستختار عددا كبيرا ولكن في المجال من 90 إلى 99: عندئذ يجب عليّ ألا أختار 99. لأنه أيا كان العدد الذي تختاره من هذا المجال، فإن اختياري للعدد 98 سيكون جيدا أو أفضل بالنسبة إليّ. لكنك إذا كنت تنطلق من المعرفة نفسها للسلوك البشري غير الرحيم، مثلما أفعل أنا، واتبعت المنطق نفسه، فإنك ستعتمد 99 خيارا لك - وباستعمال النوع نفسه من المحاكاة العقلية التي كانت ستجعل لوسي و باسل يختاران 2، فسرعان ما تلغي كل عدد من 90 إلى 99. لذا من غير الممكن جعل مجموعة الأعداد الكبيرة، التي قد يختارها منطقيا ذوو القلوب القاسية، مجموعة محددة تماما، ونكون دخلنا حقل المعرفة الصعب فلسفيا وذلك بإعمال العقل في فذلكات منطقية ذات طبيعة أساسية غير محددة جيدا.

ولو تعين عليّ أداء هذه اللعبة، لقلت لنفسني: «إنس منطق نظرية المباريات واختر عددا كبيرا (ربما كان 95)، وأنا أعرف أن غريمي سيختار شيئا مشابها، وسيتجاهل كلانا الحجة المنطقية بأن العدد الأصغر التالي سيكون أفضل من أي عدد نختاره.»

البحث عن الكود العصبي

إن معرفة الكيفية التي تُفكَّت وفقها الجردان
من القطط، تكشف كيف تُترجم إلى معلومات
عاصفة من النبضات التي تكتسح الدماغ.

A. M., L. نيكوليس - S. ريبير



من حولنا وكذلك ذكرياتنا وأحلامنا، وحتى تاريخ جنسنا البشري من تجميع حشد من الإشارات الكهربائية البالغة الصغر التي تنتشر عبر ادماغنا تماما مثلما تتكسج عاصفة رعدية السماء في ليلة صيف

خطوط مستقيمة على نحو خادع

كانت الجرزة إيش تشارك دون أن تعلم في تجربة صممت لمواجهة هذا السؤال المحوري جدا. أما كونها قد قررت أن تستخدم شعر وجهها لإنجاز هذه المهمة، فذلك كان مجرد أمر صائب فقط فعندما تكون الجرذان في حاجة فعلية إلى القرار من القلط بالاندفاع عبر فتحة حجمها غير محدد وواقعة في مكان ما في أحد جدران مكان مظلم غير مألوف، فإن أشعار شواربها تمنحها أفضل أمل للنجاح.

ترجم مستقبلات الجرذ الميكانيكية أي انحراف ميكانيكي صغير جدا لأشعار الشوارب إلى سلاسل متتالية سريعة من التفريغات الكهربائية الصغيرة التي تعرف بجهود الفعل الكهربائي لتبلغ بالإشارة موضع المنبهات اللمسية وشدها ومدتها. تنتقل هذه النبضات إلى الدماغ عبر الجهاز الثلاثي التوائم، وهو الشبكة العصبية التي تكون الجزء من الجهاز الحسي الجسدي المتخصص بنقل الإشارات اللمسية الواردة من الوجه ومعالجتها. لذلك فإن فهمنا للكيفية التي تحسب بها الجرزة إيش وغيرها من الجرذان بمنتهى السرعة واليسر قطر فتحة ما في مجرد جزء من الثانية مستخدمة فقط المعلومات الحسية التي تجمعها أشعار شواربها يتركز على توضيح كيف تتأثر المجموعات الضخمة من العصبونات الموزعة عبر الجهاز الثلاثي التوائم لمعالجة تلك المعلومات الحسية الواردة.

يكشف البحث في هذه المسألة بالطبع عما هو أكثر بكثير من مجرد معرفة كيف تراوغ الجرذان القلقة القطط الجائعة لقد قام علماء الفزيولوجيا العصبية بالفعل منذ بداية سبعينات القرن العشرين بدراسة الجهاز الثلاثي التوائم في القوارض لمحاولة الإجابة عن الأسئلة الجوهرية المتعلقة بطبيعة الكود العصبي إن العمل الذي نقوم به في مختبرنا والذي يقوم به آخرون في كثير من المختبرات في جميع أنحاء العالم من أجل حل شفرة هذا الكود يوضح فقط كيف تطورت الفرضيات العلمية بشكل مثير منذ ذلك الحين، وكذلك القدر الهائل الذي لا يزال علينا أن نتعلمه بعد

لقد كانت النظرية التي يفضلها معظم علماء الأعصاب منذ ثلاثة عقود هي تلك النظرية المعروفة بنموذج الخط الموسوم، لأنها اقترحت أن المعلومات الحسية المتولدة في محيط الجسم تنتقل عبر مسارات عصبية متوازية على طول الطريق إلى القشرة الخية الجديدة للدماغ. ومن حيث الجوهر تنتقل الرسالة خلال دائرة تغذية (تلقيم) تقديمية" تماما لتصل المستقبلات الحسية المحيطية (مثل أشعار الشوارب) بالتركيبة الأعلى رتبة في الدماغ

لقد لاقى هذا النموذج تأييدا ذا شأن مهم خلال السبعينات من القرن العشرين، عندما كشف <T> وولسي و<H> فاندربولس [عالمًا

حينما انفتحت فجأة الأبواب الانزلاقية بتحكم حاسوبي كاشفة حجرة دامسة الظلام، ولكنها مألوفة بالفعل للجرزة إيش، قامت الجرزة إيش بالضبط بما كان متوقعا منها بعد كل هذه الأسابيع من التدريب القاسي. فاندفعت بقوة دون تردد داخل الحجرة الضيقة، متحركة باقصى سرعة نحو الجدار المقابل، ومتأثرة على الأرجح بالمكافأة التي كانت متأكدة من الحصول عليها نظرا لأدائها الممتاز في الآونة الأخيرة، وكانت على أتم استعداد لاستعراض مهاراتها والتباهي بها.

لقد بدأت التجربة لحظة اجتياز الجرزة إيش حزمة من الأشعة الضوئية تحت الحمراء، أمام فتحة موضوعة في مسار عدوها مباشرة. كانت هذه الفتحة، المطوقة من الجانبين بذراعين صغيرين لقضيبين معدنيين كل منهما على شكل الحرف T يبرزان من جانبي الحجرة، تحدد حيزا (شقا صغيرا) ضيقا، وعلى الجرزة إيش أن تمر من خلاله لتصل إلى الجدار المقابل. وكان العمل الذي عليها أن تقوم به ابعد ما يكون عن التفاهة، إذ كان عليها في محاولة واحدة أن تقدر قطر الفتحة بأسرع ما يمكن ولجعل الأمور أكثر تعقيدا وإثارة للاهتمام كان حجم الفتحة يتغير عشوائيا من تجربة إلى أخرى. ولم يكن أمام الجرزة إيش وهي غير قادرة على رؤية القضيبين إلا سبيل واحد لبلوغ هدفها ألا وهو الاعتماد كلية على حسها اللمسي الشديد الحساسية.

لقد تمكنت الجرزة إيش على نحو مثير للدهشة في 90% من التجارب أن تميز على نحو صحيح ما إذا كانت الفتحة أضيق أو أوسع من ذي قبل، حتى عندما لم يتغير قطر الفتحة إلا بمقدار مليمترين فقط واستطاعت أن تحل هذا اللغز اللمسي بالكاد في 150 جزءا من الألف من الثانية بلمس حاقات القضيبين بأطراف الأشعار الطويلة البارزة التي تثبت من جانبي وجهها فقط. لم تكن حيلة الجرزة إيش عملا بسيطا من المنظور البشري، فأي شخص يحاول إنجاز مهمة أو حل مسألة مماثلة بوضع شارب أو لحيته على الفتحة نفسها كان سيفشل فشلا مخزيا مثيرا للرتاء.

لكن إيش جرزة، وقاعدة كل شعرة من أشعار شاربها تحتوي على كثافة عالية جدا من الأعضاء الحسية المحيطية المتخصصة المعروفة بالمستقبلات الميكانيكية التي تترجم الخصائص الرئيسية للمنبهات اللمسية إلى لغة يستطيع الدماغ أن يفهمها ألا وهي الكهربا، تنتقل مثل تلك الإشارات الكهربائية في الجرذان كما في البشر بواسطة عدد وافر من الأعصاب المحيطية الموجودة في جميع أنحاء الجسم إلى تراكيب دماغية متعددة مترابطة فيما بينها فتتكون بذلك دائرة عصبية ضخمة تعرف بالجهاز الحسي الجسدي المسؤول عن ذخيرتنا المتسعة من الأحاسيس اللمسية. تسهم هذه الدائرة نفسها أيضا في نشوء معظم خبرتنا الإدراكية الشخصية، أي إحساسنا الخاص بذاتنا

لكن لا تزال منذ زمن بعيد وإلى الآن الكيفية المضبوطة التي يترجم بها الدماغ هذه اللغة من النبضات الكهربائية إلى مثل تلك المدارك الحسية الدقيقة والمتنوعة لغزا عويصا يصعب فهمه، وواحدا من أبحاث الدماغ المقدسة المضنية التي تتطلب بحثا طويلا جاهدا إن حل (فك) هذا الكود العصبي هو بمثابة فتح الأبواب لفهم ماهية هويتنا، إذ تثبت قدرتنا على التحدث والحب والكراهية وإدراك العالم

التشريح العصبي في كلية الطب بجامعة جونز هوبكنز] النقب عما بدا أنه خطوط الاتصال المادية داخل القشرة المخية الحسية الجسدية الأولية primary somatosensory (S1) cortex في دماغ الفار ويمكن تقسيم القشرة المخية في الفار. كما في الثدييات الأخرى، إلى ست طبقات على أساس النسيج المميز لكل منها وتوزيع أنماط الخلايا العصبية بها، وترقيمها من I إلى VI من سطح الدماغ الخارجي الأقصى إلى الطبقة القشرية الداخلية وباستخراج كتل نسيجية تحوي القشرة المخية S1 للفار بأكملها، تمكن «وولسي» و«فاندرلوس» من تحضير شرائح رقيقة متماسة تغطي النطاق القشري المخي بأكمله، ثم صبغ تلك المقاطع النسيجية للكشف عن وجود أكسيداز السييتوكروم، وهو إنزيم ميتوكوندري (مُتَقَدِّرِي) مرتبط بالنشاط الخلوي المكثف. ولقد أدهش «وولسي» و«فاندرلوس» ما اكتشفاه من احتواء الطبقة القشرية المخية IV على عناقيد متعددة متميزة من العصبونات الغنية بأكسيداز السييتوكروم، ومنظمة تنظيمًا جيد التخطيط من الصفوف والأعمدة وقد كونت آلاف من العصبونات المترابطة بإحكام كل عنقود برميلي الشكل¹، وهذا حث الباحثين على تسمية العنقود الواحد بالبرميل والمطرس (المادة البينخلوية) بالحقن البرميلي. والأكثر إثارة للدهشة أن هذا الحقن البرميلي كان يحدد خريطة جميلة، ولو أنها محرفة بعض الشيء لخطم (مقدم فم واثف) الفار وسرعان ما وُجد نسق حقن برميلي مماثل في القشرة المخية للجوز [انظر المظهر في الصفحة المقابلة]، وكشف المزيد من الدراسات عن وجود مثل تلك الخرائط

نظرة إجمالية/ كود منبثق²

الطوبوغرافية في تراكيب تحت قشرية منها جذع الدماغ والمهاد حيث لُقِّبَت العناقيد بالبرميلات وأشبه البراميل. ولقد أظهر بالفعل باحثون لاحقون أن تكدسات من هذه الخرائط الطوبوغرافية في كل واحدة من المحطات (التوصيلات) تحت القشرية بالجهاز الثلاثي التوائم تصل المستقبالات الحسية المحيطة الموجودة في أشعار وجوه الجرذان بالقشرة المخية S1 على طول الطريق فيما بينهما

ويستخدم علماء الفزيولوجيا العصبية الحسية مصطلح «الحقل الاستقبالي»³ لتحديد مقدار الجلد الذي يتسبب عند تنبيهه في استجابة عصبون بإنتاج جهود فعل كهربائي (كمونات عمل). وبناء عليه كان التنبؤ الأكثر أهمية لنموذج الخط الموسوم في حالة الجهاز الحسي الجسدي للقوارض أن الحقل الاستقبالي أو الحقل الحيزي للعصبون الفردي الواقع في أحد هذه البراميل الثلاثية التوائم سيفتصر على شعرة شارب رئيسية واحدة

ولكن بحلول أواخر ثمانينات القرن العشرين بدأت نتائج مناقضة تتحدى هذه الرؤية الخطية الصرفة⁴. فعلى سبيل المثال، سجل عالم الفزيولوجيا العصبية M> أرمسترونك-جيمس⁵ [في جامعة لندن] حينذاك نشاط عصبونات فردية واقعة في عدة براميل قشرية مخية لجرذان مخدرة ومع استطاعته تحديد شعرة الشارب الرئيسية لمعظم هذه العصبونات القشرية المخية، أثبت أيضا أن العصبون الفردي كان قادرا على الاستجابة لانحراف أشعار الشارب المحيطة بتلك الشعرة الرئيسية

لقد اقترح «أرمسترونك جيمس» في استنتاج شبه ابتداعي (شبه هرطقي)

بالنسبة إلى زمانه، أن الحقول الاستقبالية للعصبونات الفردية في القشرة المخية البرميلية للجرذ لم تقتصر على أشعار أولية فردية، بل اشتملت الحقول الحيزية بدلا من ذلك على بضع أشعار محيطة تدفع عند انحرافها العصبونات إلى إحداث استجابات حسية أضعف وأبطأ، ولكن مع ذلك يعتقد بها. لقد كانت هذه الفكرة كافية لإحداث خلاف كبير في هذا المجال، ومع ذلك كانت مجرد بداية عقد انتقالي لفهم العلماء التكويد العصبي

حوسبة مُورَّعة⁶

إن التقنية التي استخدمها «أرمسترونك-جيمس» لتسجيل نشاط العصبونات الفردية (كل منها على حدة) في الجرذان المخدرة، كانت هي تقريبا الطريقة الرسمية المقررة في عام 1989. وذلك عندما قرر واحد منا (وهو نيكوليليس) مع K.J. شابين⁷ [الذي يعمل حاليا في جامعة الولاية بنيويورك في المركز الطبي التابع لها في القلب التجاري للمدينة] أن يطبقا طريقة جديدة للإصغاء إلى النشاط الكهربائي لعدة عصبونات فردية في أن واحد.

في البداية، ركزنا على العصبونات الواقعة في أشباه البراميل بالنواة الجوانية (الإنسية) الخلفية البطنية ventral posterior medial nucleus (VPM)، وهي تركيب يوجد في المهاد ويعد المصدر الرئيسي للاتصالات العصبية الصاعدة إلى الحقول البرميلية⁸. في القشرة المخية الحسية الجسدية الأولية، أظهرت دراسائنا الأولى أن عصبونات النواة VPM أظهرت حقولا استقبالية واسعة جدا لأشعار شوارب متعددة وعلى غرار ما وجده «أرمسترونك-جيمس» في القشرة المخية، نتجت الاستجابات الأقوى والأسرع لعصبونات VPM من انحراف شعرة الشارب الرئيسية لكل عصبون منها محددة مركز حقله

Overview: An Emerging Code (1:1)
Distributed Computing (1:1)
somatosensory cortex (1:1)
barrel shaped cluster (1:1)
receptive field (1:1)
neal linear view (1:1)
barrel fields (1:1)

- إن العواصف من النبضات الكهربائية التي تكتسح الجهاز العصبي المركزي، تُترجم بطريقة أو بآخرى إلى أفكار وانفعالات وأحاسيس. وقد قضى علماء الأعصاب عقودا من الزمان في محاولة حل شفرة هذه اللغة العصبية.
- لقد تصورت الفرضيات المبكرة بشأن الإدراك الحسي أن الإشارات تنتقل انتقالا خطيا صرفا على طول طرق عصبية غير مترابطة (منفصلة) فيما بين مستقبلات المنبهات ومراكز المعالجة العليا في الدماغ.
- لقد كشفت مراقبة مجموعات كبيرة من العصبونات في المسارات الحسية عن حقيقة أخرى مثيرة، وهي أن المعلومات تُشفر في نسق الأنشطة الزمانية المكانية للمجموعات العصبية بأكملها.

لفترة زمنية طويلة، قام علماء الفيزيولوجيا العصبية بدراسة الجهاز الثلاثي التوائم للجرذ كنموذج لاكتشاف كيف تُعالج المعلومات في الجهاز العصبي. ويمتد الجهاز الثلاثي التوائم وهو عبارة عن شبكة عصبية تنقل المنبهات الحسية من الوجه، من مستقبلات حسية محيطية (مثل المستقبلات الميكانيكية المتجمعة عند قاعدة كل شعرة من أشعار الشارب) إلى الأعلى باتجاه جذع الدماغ وتركيبات الدماغ تحت القشرية، وأخيرا إلى القشرة الحسية المخية الحسية الجسدية الأولية. وبالفعل، بين علماء التشريح في سبعينات القرن العشرين أن الخرائط الفعلية لوجه الجرذ متحركة ومتغيرة وشرقية في المناطق الثلاثية التوائم في القشرة المخية [دناه] وتحت القشرة المخية.

القشرة المخية الحسية الجسدية الأولية

التوائم الثلاثية التوائم

جذع الدماغ

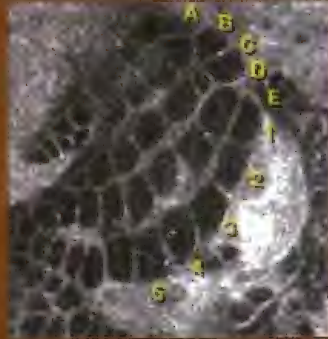
القناع (الحمل) الشوكي

العقدة الثلاثية التوائم

العصبية الثلاثية التوائم

شعرة شارب

المستقبلات الميكانيكية



الحقل البرميلي القشري المخي

تشكل عناقيد برميلية الشكل - موزعة من عصبونات الحقل محتشدة بكثافة ومنظمة في نمط طوبوغرافي محرف بعض الشيء للوجه - حقلًا برميليًا في القشرة المخية الحسية الجسدية للجرذ. إن الصفوف (A - E) والأعمدة (1-5) من البراميل التي تعكس تنظيم أشعار الشارب في حقل (مقدم فم وناق) الجرذ، فتجلى للعلماء الرجوع والإشارة إلى برميل من البراميل أو شعرة الشارب الرئيسية المناظرة له من المواقع الخاص بها على الشبكة.

A SENSORY NETWORK (x)
cortical barrel field (x)

للمعلومات للمسية الواردة وقد تابعنا هذه النتائج وأعقبناها بشجارب أكثر تحداً من الناحية التقنية، تتضمن مراقبة نشاط عينات أكبر من العصبونات الفردية في محطات (توصيلات) متعددة من جهاز الجرذ الثلاثي التوائم، تقع في جذع الدماغ والمهاد والقشرة المخية وقد منحتنا تسجيلاتنا التزامنة المتعددة المواقع والمتعددة المساري الكهربائية عينات لعصبونات فردية يصل عددها إلى 48 عصبونا لكل حيوان في أن واحد موزعة عبر عدد من التراكيب العصبية

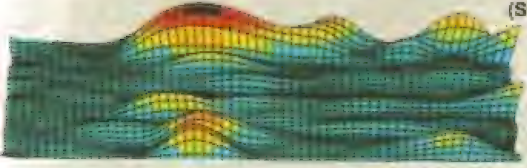
عصبون ترشح وفقاً للزمن التالي للمنبه. وبعبارة أخرى، كنا لا نستطيع في الواقع أن نحدد مركز الحقل الاستقبالي لعصبون معين وحدوده إلا إذا عيّنا لحظة زمنية محددة. إن هذا المظهر الزمني المكاني الديناميكي لاستجابات العصبونات قد أتاح الفرصة أيضاً للخلايا أن تعيد تنظيم ردود أفعالها فوراً بعد أي تغيير في تدفق المعلومات للمسية من محيط الجسم. فعلى سبيل المثال، عندما قمنا بمجرد تخدير رقع صغيرة من جلد وجه الجرذ تمكنا من مشاهدة إعادة تنظيم تامة للحقول الاستقبالية للعصبونات VPM في غضون بضع ثوانٍ لتتلاءم مع النسق الجديد

الاستقبالي، في حين انطلقت استجابات أضعف وأبطأ من تنبيه الأشعار المحيطة. في الحقيقة، ازداد حجم الحقول الاستقبالية للعصبونات VPM الفردية ازدياداً ملحوظاً مع تناقص مستوى تخدير الجرذان حتى إفاقتها تماماً في النهاية. حيث إنها شملت أحياناً معظم الأشعار الوجهية على الجانب نفسه من وجه الجرذ وإضافة إلى ذلك، لما كانت العصبونات VPM تستجيب لتنبيه الأشعار الوجهية المختلفة بعد فترات كمون أو تأخير مختلفة (وهي فترات فاصلة بين التنبيه والاستجابة)، فإن الحقل الحيزي للحقل الاستقبالي لكل

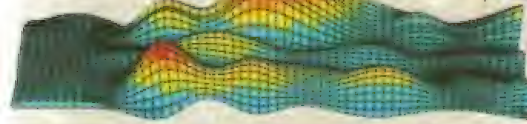
استجابات المجموعة الخلوية

يُحدث تنبيه شعرة شارب فردية موجات من النشاط الكهربائي في عناقيد خلوية برميلية الشكل في جذع الدماغ (SPV و PrV) والمهاد (VPM) والقشرة المخية (S1).

القشرة المخية الحسية الجسدية
(S1) الأولية



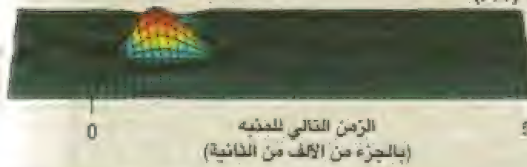
النواة الجوانية (الإنسية) الخلفية
(VPM) البطينية



النواة الثلاثية التوائم
(SPV) النخاعية



النواة الثلاثية التوائم
الرئيسية (PrV)



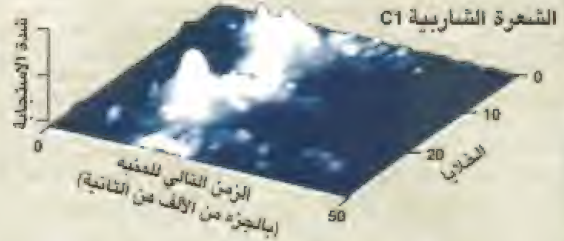
مجموعة برميلية فردية

الزمن التالي للتحفيز
(بالجزء من الألف من الثانية)

إن تنبيه أشعار الشوارب الفردية على وجه الجرذ يكشف عن شبكة معقدة من التفاعلات الموزعة⁽¹⁾ عبر مجموعات من العصبونات وعلى مر الزمن، وهكذا يتم توكيد المعلومات الحسية الواردة من شعرة شارب واحدة في شسق الاستجابات الزمانية المكانية بواسطة عدد كبير من الخلايا الموجودة في كل مكان بالجهاز الثلاثي التوائم للحيوان.

استجابات المجموعة العصبونية

بدلاً من الاستجابة لشعرة شارب رئيسية واحدة فقط، يتفاعل 25 عصبوناً في أعمدة برميلية قشرية مخية مختلفة مع تنبيه أشعار شاربية مختلفة بأنماط استجابية متميزة [أنعام]. يصور كل صف النشاط الكهربائي لخلية فردية بعد تنبيه شعرة الشارب.



العصبونات القشرية المخية لتصنيف مواقع منبهات شعرة الشارب الفردية؛ ثم بمجرد أن بلغت الشبكات ANN مستوى عالياً من الدقة، قام بإدخال مجموعة جديدة من البيانات، ثم بقياس مدى جودة إمكانية تنبؤ اللوغاريتمات بموقع شعرة الشارب المنبهة. وعندما تمت تغذية الشبكات ANN بأنشطة العصبونات الفردية منعزلة كانت دقة تنبؤاتها منخفضة للغاية، ولكن عندما تمت تغذيتها بالاستجابات المجتمعة لمجموعات العصبونات الفردية، تمكنت اللوغاريتمات بسهولة من التنبؤ بالموقع الصحيح لنبيه شعرة الشارب من محاولة واحدة.

وفي الوقت نفسه، كانت مختبرات أخرى تحصل باستخدامها مجموعة متنوعة من الطرائق على بيانات تؤيد

CONVERGING SIGNALS (1)
reactions distributed (1)
population neural code (1)

حسية دقيقة وذات معنى عن البيئة المحيطة بالحيوان مباشرة إلا بضم أنشطة مجموعات كبيرة من العصبونات الفردية. ولاختيار هذه المشاهدة (الملاحظة) إلى مدى أبعد، حاول «كزنفر» [وهو طالب دراسات عليا في مختبرنا] في منتصف تسعينات القرن العشرين، «قراءة» الرسائل المكددة التي ترسلها مجموعات العصبونات الثلاثية التوائم في الحرد. وقد فعل ذلك بتغذية سلسلة من لوغاريتمات تمييز الشسق الصناعية (المعروفة بالشبكات العصبونية الصناعية (ANNs) artificial neural networks) بأنشطة الكثير من العصبونات القشرية المخية التي تم الحصول عليها أثناء التنبيه الميكانيكي للعديد من أشعار الشارب الفردية في البداية قام «كزنفر» بتدريب واحد من اللوغاريتمات على استخدام نسق الإثارة الزمانية المكانية لمجموعات كاملة من

المختلفة يصل إلى خمسة لقد كانت هذه هي المرة الأولى التي يجري فيها على الإطلاق أخذ عينات حيزية على نحو شامل من المسار الحسي للحيوان. وقد كانت النتيجة واضحة بقدر ما كانت مثيرة للدهول: فانحرافات شعرة الشارب الفردية في الحيوانات اليقظة أطلقت موجات معقدة من النشاط الكهربائي، انتشرت عبر عدة عناقيد برميلية الشكل داخل كل تركيب من التراكيب العصبية الواقعة على طول الجهاز الثلاثي التوائم (انظر المظهر في هذه الصفحة). لم يكن ما كنا نشاهده متناغماً على الإطلاق مع انتقال المعلومات على طول خطوط موسومة ساكنة منعزلة عن بعضها. وإنما أوحى لنا نتائجنا بدلاً من ذلك بالنموذج المعروف بالتمثيل الموزع أو بالكوند العصبني المجموعي⁽²⁾. حيث لا يكون دماغ الجرذ قادراً على استخلاص معلومات

لن يتمكن الدماغ من استخلاص معلومات ذات مغزى إلا بضم أنشطة المجموعات العصبونية.

علاقات العشرة
المخية للجرد

العصبية بفعل تغيرات تحدث في أغشيتها الخلوية. ولكن «فانسيلو» وجدت أنه عندما تحدث الجردان تحركا من أي نوع لأشعار شواربها، تطلق عصبونات القشرية المخية والمهادية الدفعات العصبية على نحو أكثر أطرادا. استجابة لنبضة عصبية كهربائية فردية دون أي فترات تثبيط على الإطلاق

لقد حشنتها هذه الملاحظة على محاولة توصيل متتاليات من نبضتين كهربائيتين إلى العصب بدلا من متتاليات من نبضات فردية، وكانت النتيجة مذهلة. عندما كانت الجردان بقطرة ولكنها ساكنة ولا تحرك أشعار شواربها، كانت عصبونات القشرية المخية والمهادية تستطيع الاستجابة فقط للمنبه الأول من زوج المنبهات، في حين كان الآخر يُخْضِبُ بالتثبيط التالي للإثارة. ولكن عندما كانت الجردان تحرك أشعار شواربها بنشاط، تمكنت عصبوناتها S1 و VPM من الاستجابة بشكل جيد جدا لكل من النبضتين الكهربائيتين، حتى عندما لم يكن يفصل بينهما إلا 25 ميكروثانية (25 جزءا من المليون من الثانية). إن الانهماك في سلوك تحريك أشعار الشوارب بخفة وسرعة قد غيّر بوضوح خواص العصبونات، وهذا أتاح للفشرة المخية والمهاد تمثيل متتالية من المنبهات اللمسية تمثيلا صحيحا.

وفي أثناء هذه الفترة الزمنية، بدأ «كروبا» بالنجاح في تدريب الجردان على أداء المهمة نفسها التي سوف تبرع في أدائها الجردة إيش فيما بعد في غضون بضع سنوات. لقد قدمت هذه الطريقة وسيلة جديدة لاختبار فيما إذا كانت استجابات العصبونات تختلف أيضا، عندما يصبح لمهمة التمييز اللمسي النشاط للحيوان مغزى ومتطلبات أكثر، أي أكثر شبيها بالحياة الحقيقية. مثل استخدامه شعر وجهه ليقدر

Context Counts (١)

(١) feedback، أو الاسترجاع: التغذية الراجعة: التلقين المرتد

strict feedforward, labeled-line theory (٢)

في لحظة زمنية مختلفة. لقد كانت نتائجا بالفعل بعيدة كل البعد عن نظرية الخط الموسوم ذي التغذية التقدمية المترتبة. ولكن لا يزال الكثير من التنبؤات المشتقة من نموذجنا التقاربي الالتقائي اللاتزامني يتطلب اختبارات تجريبية مكثفة، وهذا قادنا إلى رحلة بحثية أخرى لعقد من الزمان نقوم فيها بتنبيه أشعار شوارب الجردان بمجموعة من الوسائل لم يسبق تجربتها قط.

القرائن تؤخذ بعين الاعتبار

في عام 1998، قامت «إ. فانسيلو» (وهي طالبة دراسات عليا في مختبرنا) بتصميم تقنية بارعة لقياس كيفية استجابة العصبونات S1 و VPM لمنبهات متشابهة في ظروف مختلفة في الجردان الحرة الحركة. لقد تمكنت «فانسيلو» - عن طريق زرع مسرى كهربائي على هيئة قيد بالغ الصغر حول العصب تحت الحجاج، وهو فرع العصب الثلاثي التوائم الوارد من الأشعار الوجهية - من توصيل متتاليات دقيقة من النبضات الكهربائية إلى العصب في الوقت نفسه الذي تقاس فيه استجابات العصبونات S1 و VPM وبعد ذلك قامت بقياس كيف تغيرت تلك الاستجابات العصبونية أثناء مختلف السلوكيات التي تظهر على الجردان وهي تتجول تجوالها الروتيني اليومي. وكشفت هذه التجارب أنه عندما تحرك الجردان أشعار شواربها تختلف جدا الطريقة التي تستجيب بها عصبونات القشرية المخية والمهادية للمنبهات اللمسية عن طريقة استجابتها عندما تكون هذه الحيوانات نفسها بقطرة أو مخدرة.

وفي الجردان الساكنة، كانت هذه العصبونات تستجيب للتنبيه على نحو تقليدي بمتتالية قصيرة من جهود الفعل الكهربائي (كمونات العمل)، تعقبها فترة زمنية طويلة الأمد يُثَبِّطُ فيها إطلاقها للدفعات (الدقات)

منسارات الإشارات الثلاثية التوائم

يتم تعديل الإشارات اللمسية الواردة من الشعرة الشاربية بواسطة إشارات عصبية تنتقل على طول روابط جانبية ونازلة بين تراكيب الدماغ.



نتانجنا الكهربائية الفيزيولوجية. ولقد واصل «كزنفر» مع «إ. كروبا» [الحاصل على زمالة ما بعد الدكتوراه] جهودهما ليثبتا أول مرة أن إحصار النشاط العصبوني في القشرة المخية S1 يؤثر في استجابات العصبونات VPM في المهاد، وهذا يوحي بأن إشارات الارتجاع النازلة من القشرة المخية إلى النواة VPM يمكن أن تؤدي أيضا دورا مهما في تعديل المعلومات الصاعدة من جذع الدماغ. وقد أدت هذه النتائج مع مثيلاتها إلى اقتراح مجموعتنا البحثية أن الاستجابات اللمسية للأشعار الشواربية المتعددة ذات الديناميكية العالية المشاهدة في كل من العصبونات S1 و VPM كان يحددها عدد وأقر من الإشارات المعدلة الصاعدة والهابطة والمتنقلة جانبيًا والتي تتقارب للالتقاء عند كل واحد من هذه العصبونات

فتحة ضيقة



فتحة واسعة



في هذه التجربة، استخدم الجرد أشعار شاربية لتحسس الفتحة المكونة بواسطة قضيبين متحركين يطوفان توتراً (نقياً nose poke)، ثم اتخذ الحيوان قراره بشأن تقدير حجم الفتحة بالبحث عن جائزة في غرفة خارجية في واحدة من محطتين كان قد تدرب لربطهما بـ «ضيقة» أو «واسعة».

إن القدرة على التنبؤ بسلوك الجرد تثبت أن لوغاريتم تعرف النسق يستطيع أن يحل شفرة المعلومات الحسية المكونة في نشاط الحيوان العصبي، فعندما تُغذى (تلقم) شبكة عصبية صناعية (ANN) بتسجيلات من أدمة الجرذان المشتركة في التجربة المبينة في اليسار، فإنها يمكن أن تحدد فيما إذا كان الحيوان سيعبر اتساع الفتحة تمييزاً صحيحاً أو لا. وكما هو متوقع، كان أداء الشبكة ANN (الرسم البياني) عند مستوى الصدفة قبل اقتحام الجرذان لحزمة الضوء عند مدخل الحجرة التجريبية [0 ثانية]. وبعد أن بدأت الحيوانات تستكشف الفتحة بواسطة أشعار شواربها [0.1 إلى 0.25 ثانية]، ارتفعت دقة تنبؤ اللوغاريتم بسرعة.



إن عضوية عصبون فردي في تلك المجموعات مرنة وسلسة على الأرجح ويمكن أن تتغير من لحظة إلى أخرى. كما يستطيع عصبون واحد أن يشترك في الكثير من هذه المجموعات في آن واحد. وتستطيع كذلك الخصائص الاستثنائية للخلايا الفردية أن تتغير باستمرار نتيجة لحالة المحيط الحسي والتجارب الإدراكية السابقة للحيوان وديناميكية دماغه الداخلية، سواء كانت تتخير العينات من البيئة المحيطة به إيجابياً أو سلبياً، وتوقعات الحيوان للمستقبل.

ونحن البشر نشترك مع الجرذان في الملامح الأساسية نفسها لبنية الدماغ وفزيولوجيته وبيولوجية خلاياه، ونجتاز مثلها محيطنا الحسي بمساعدة شبكات عصبية معقدة، نُؤكّد تصورات متعددة عن العالم المحيط بنا وتشكل الإدراك من لحظة إلى أخرى بمقياس دقيق وفقاً للتغير في الانتباه والدوافع والحالة المزاجية وتأخذ في الحسبان تجاربنا الحسية السابقة.

READING THE MIND OF A RAT [٤١]
Dynamic Network [٤٤]

والارتجاعية في داخل الجهاز الحسي للحيوان. لقد تمكنت الشبكة ANN بفضل اتحاد أنشطة نحو 50 عصبوناً قشرياً مخياً من التنبؤ بدقة بالغة بقدرة الجرذان على تحديد اتساع الفتحة أو ضيقها تحديداً صحيحاً في أي تجربة.

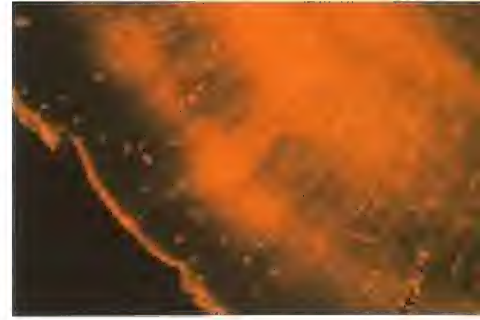
شبكة ديناميكية^{١١١}

إن قدرتنا على التنبؤ بسلوك الحيوان من أنماط الاستثارة العصبية وحدها قد أوجت لنا بأننا على المسار الصحيح نحو اكتشاف ترجمة اللغة للجهاز العصبي. لقد كان جلياً تماماً أن دماغ الثدييات يعتمد على الأرجح على مجموعات عصبية واسعة الانتشار، تكونها على نحو ديناميكي خلايا متوافقة تماماً. لتذهب الحيوانات قدراتها الإدراكية الشديدة الحساسية بدلاً من الاعتماد كليةً على نشاط عصبونات فردية متخصصة أو حتى أعمدة خطية من وحدات برميلية الشكل.

قطر ثقب دائم التغير.

لقد أكدت نتائج «كروبا» ملاحظات «فانسيلو» السابقة ووسعت مداها. فعندما استخدمت الحيوانات أشعار شواربها استخداماً نشيطاً لتقدير قطر الفتحة، أظهرت نسبة مئوية كبيرة من عصبوناتها VPM و S1 استجابات قوية طويلة الأمد بلا تثبيط. إضافة إلى ذلك، بدأت عصبونات متعددة في القشرة المخية تغير بشكل واضح معدلات إطلاقها للدفعات العصبية قبل أن تلمس أشعار شوارب الجرذان حوافات القضبان بكثير. وهذا يوحي بأن حالة الجرذان السلوكية كانت تؤثر بالفعل في خواص العصبونات مُعدّة إياها للمهمة العصبية الحاسمة التي أمامها.

لقد قام «كروبا» بتغذية شبكة عصبية صناعية بأنماط الإثارة الزمانية المكائنية لمجموعات العصبونات التي تم تسجيلها أثناء تنفيذ هذه المهمة، وذلك كبرهان نهائي يثبت أن هذه التأثيرات كانت أيضاً جزءاً من المعلومات المكونة للتغذية التقديمية.



كيف تستطيع أدمغتنا أن تمنح كل واحد منا هذا الوجود الفريد الذي يتعذر نسخه؟

أمرا ممكنا، وهذا أتاح لنا اليوم الإصغاء إلى نشاط ما يقرب من 500 عصبون فردي لفترات زمنية طويلة في الحيوان اليقظ المشغل بممارسة سلوكيات طبيعية

ولا عجب أن مراقبة العصبونات كل على حدة قد تكون هي التي ساعدت على تبني وجهة النظر الخطية المركزية العصبون للاتصال العصبي. فتلك الطرائق البدائية القديمة يمكن تشبيهها بالاستماع لصوت واحد فقط أثناء تأدية مسرحية موسيقية معقدة (أوبرا). فمهما كان المغني المنفرد موهوبا، فسيجد المرء صعوبة في متابعة المسرحية ولكن عندما تتجمع العصبونات في مجموعات عصبية كبيرة موزعة على نطاق واسع، فستمنحنا التغيرات الجماعية لهذه العصبونات أوصافا بالغة الدقة عن البيئة المحيطة بنا وهكذا كلما قر جرد من قط مهاجم، كانت نجاته على الأرجح بفضل سمفونية النبضات الكهربائية التي تُعزف في رأسه. ■

(١) robot arm [انظر "Controlling Robots with the Mind" by Miguel A. L. Nicolelis - John K. Chapin (Scientific American, October 2002 tactile feedback (٢) collective interactions (٣)

التجريبية الأساسية تأثير حاسم في التقدم في هذا المجال. فقد كانت جهود علماء الأعصاب في العقود الماضية مقصورة على تسجيل نشاط العصبونات المنعزلة باستخدام مسامير كهربائية معدنية صلبة كانت تُثلف نسيج الدماغ إذا ما حُرِّكت بعنف أكثر من اللازم، ومن ثم كان الباحثون مجبرين على دراسة نشاط الدماغ، في حين أن الحيوان مخدر أو على الأقل تم تسكينه وتقييده أما الآن. وكما أثبتت التجربة الخاصة بمجموعتنا الحديثة، فبمجرد أن تمكن العلماء من الإصغاء لعشرات العصبونات في تراكيب دماغية متعددة في آن واحد، أصبحت الرؤية الجديدة للنشاط العصبي، على أساس مجموعي، ممكنة كما جعلت مواد المساري الكهربائية الحديثة الغرس الدائم لأجهزة تسجيل في الدماغ

ولكن كيف يمكن أن تنبثق جميع هذه النواتج الثانوية من التفريغات الكهربائية البالغة الصغر لآلاف العصبونات؟ كيف يمكن أن تجعلنا أدمغتنا نتصرف كلنا بمثل هذا التشابه في بعض الأوقات، ومع ذلك تمنح كل واحد منا وجودا فريدا يتعذر نسخه وسوف يتفق معظم علماء الأعصاب على أن التفاصيل المعقدة لهذا اللغز سيظل يكتنفها غموض عميق لبعض الوقت

ومع ذلك، أتاح لنا بالفعل عمل مجموعتنا البحثية - الرامي إلى حل شفرة الكود العصبي من وضع فهمنا السطحي لهذه اللغة قيد الاستعمال العملي - قراءة أنماط الاستثارة العصبية من القشرة المخية الحركية للفرد واستخدام لوغاريتمات الحاسوب لترجمة تلك المعلومات في الزمن الفعلي إلى تعليمات لتحريك ذراع إنسانية. إن أمنا هو أننا يوما ما، قريبا، سنبرع أيضا في تركيب واستعمال الكلمات والعبارات بالقدر الكافي لمخاطبة الدماغ وسوف يتيح لنا ذلك على سبيل المثال صنع ذراع بشرية صناعية بديلة مُحَمَّلة بأجهزة إحساس لإرسال ارتجاع لمسي إلى القشرة المخية الحسية الجسدية للشخص الذي يستعملها

ومع أن حل شفرة الكود العصبي مازال بعيد المنال، فبإمكاننا حاليا فهم بضعة مقاطع لفظية واستخدامها، علما بأن ذلك لم يكن أمرا واقعا منذ 10 سنوات فقط. إن واحدا من الأسباب المهمة التي تمكننا من استخدام هذه اللغة بالفعل منذ الآن هو تكيفها المتواصل فيها والذي ينشأ بدوره عن خواص الاتصال المتشابكة خلال المجموعات العصبية وحتى لو سقطت بضع كلمات، تستطيع الرسالة العبور والوصول بالطريقة نفسها تقريبا التي تستطيع بها شبكة تقانة التعويض السريع عن فقدان بضع عقد

لقد كان لتطور التجهيزات والمعدات

المؤلفان

Miguel A. L. Nicolelis - Sidarta Ribeiro

لقد قاما باستقصاء التكويد العصبي معا عندما كان «جريبورو» زميلا لنا بعد الدكتوراه في مختبر «نيكوليليس» بجامعة ديوك. قام «نيكوليليس» (بصفته المدير المساعد لمركز ديوك للهندسة العصبية) و«W. Ah» (دكتوراه في علم الأعصاب) بإبتداع استخدام أغراس دماغية متعددة المساري الكهربائية لاستقرار السمع لنبضات أعداد كبيرة من العصبونات وتطوير طرائق حسابية لترجمة النماذج ونمطية لها. ويشترك كل من «نيكوليليس» و«جريبورو» في لعملا بنشر فوائد وسائل علم الأعصاب المتقدم والمتطور. فهما مؤسسان مساعدان لعهد ناتال العالمي لعلم الأعصاب في شمال شرق البرازيل. و«جريبورو» هو المدير العلمي لمركز سيزار تيمولاريا للأبحاث والتعليم، وهو قسم بالعهدة يخطط أساسا لتجميع مؤسسة تدريب وأبحاث من الدرجة العالمية في علم الأعصاب. ومؤسسات للتعليم المدرسي والصحة العقلية والرياضة، ومتحف للعلوم، ومحمية طبيعية، لتشجيع التنمية الاجتماعية والاقتصادية في هذه المنطقة النائية من البرازيل

مراجع للاستزادة

Brain-Machine Interfaces to Restore Motor Function and Probe Neural Circuits. Miguel A. L. Nicolelis in *Nature Reviews Neuroscience*, Vol. 4, pages 417-422; May 2003

Layer-Specific Somatosensory Cortical Activation during Active Tactile Discrimination. David J. Krupa et al. in *Science*, Vol. 304, pages 1989-1992; June 25, 2004.

Global Forebrain Dynamics Predict Rat Behavioral States and Their Transitions. Damien Gervasoni, Shih-Chieh Lin, Sidarta Ribeiro, Ernesto S. Soares, Janaina Pantoja and Miguel A. L. Nicolelis in *Journal of Neuroscience*, Vol. 24, No. 49, pages 11137-11147; December 8, 2004.

International Institute of Neuroscience of Natal: www.nataineuroscience.com

Scientific American, December 2006

استخدام الهيدروجين كوقود للسيارات

يعمل الباحثون اليوم على إيجاد سبل تتيح للسيارات التي تعمل بخلايا
الوقود التزود بالهيدروجين الذي تحتاج إليه لقطع مسافات طويلة.

<S> سانيابال - <A> بينروفيش - <G> توماس

يصعب تخزين كمية كافية من
غاز الهيدروجين بالسيارات في
خزان بحجم خزان الكازولين

GASSING WITH HYDROGEN



أدهش «د. شارل» العالم حين خلق في سماء باريس على ارتفاع 3000 قدم فوق سطح الأرض، في يوم من أواخر أيام صيف سنة 1783، في منطاد صناعه من قماش حريري مغلف ببطقة من المطاط ومعبأ بغاز الهيدروجين، الأخف من الهواء وقد عمد القرويون الذين أصابهم الذعر من هذا التحليق إلى تحطيم المنطاد عند عودته إلى الأرض. لكن «شارل» اختط بعمله هذا نهجا لا يزال الباحثون، بعد مرور قرنين من الزمن، يعملون في إطاره يتجلى هذا النهج في استخدام طاقة غاز الهيدروجين، العنصر الأخف في الطبيعة، كوقود لوسائل النقل.

بعد إحراق الهيدروجين أو استخدامه في خلايا الوقود fuel cells التي تشغل محركات سيارات المستقبل، خيارا مغريا لأسباب عديدة فهو يحضر محليا من مجموعة كبيرة من خامات كيميائية ومن مصادر طاقة أخرى (مثل مصادر الطاقة المتجددة ومن مصادر نووية وكذلك من مصادر الوقود الأحفوري fossil fuel) وهو غاز نظيف وغير سام يمكن أن يشكل مصدرا لطاقة للآلات المتعددة الأنواع، وعند احتراقه لا يطلق أي ملوثات بيئية، مثل غاز ثاني أكسيد الكربون المكون الفعال في غازات الدفيئة. وحين حمله في خلايا الوقود التي تشبه في تركيبها البطاريات، يؤمن الهيدروجين، عند احتراقه بالأكسجين، الطاقة اللازمة لتشغيل محركات السيارات التي تعمل بالكهرباء، ناشرا الحرارة ومخلفا الماء فقط كمنتج ثانوي [انظر «نحو سيارات تعمل بالهيدروجين»، **العلوم**، العدد 120051، ص 16]. وقد يتعدى مردود وفعالية السيارات التي تعمل بخلايا الوقود ضعفي مردود السيارات العاملة حاليًا: كما قد يؤدي استخدام الهيدروجين إلى تقديم المساعدة والعون لحل مسائل وأمر اجتماعية وبيئية مثل تلوث الهواء، وما يسببه من مخاطر على الصحة العامة وتغيرات المناخ العالمي والاعتماد على النفط المستورد.

ومع جميع هذه التوقعات الإيجابية فإن عقبات أساسية تعترض استخدام غاز الهيدروجين كوقود للسيارات. إن الطاقة التي تحملها كمية ما منه (1 كغ مثلا) تزيد على ثلاثة أضعاف الطاقة التي تحملها الكمية ذاتها من الكازولين؛ لكن يتعدى علينا اليوم، بل يستحيل، حمل غاز الهيدروجين وتخزينه في السيارات بالسهولة والإحكام اللذين يحمل بهما الكازولين. ويعد أمر هذا الحمل والتخزين من أشد الأمور التقنية تعقيدا وأكثرها مدعاة للإثارة والتحدي، إذ كيف يمكن أن نحمل السيارة، بصورة آمنة ومحكمة، ما يكفي من غاز الهيدروجين لتحقيق مستوى الأداء ولقطع المسافة المطلوبين. وليست مهمة الباحثين في هذا المجال سيرة، إذ إن عليهم إيجاد الحلول المثلى goldilocks التي تؤمن

نظرة إجمالية/ تخزين الهيدروجين

- من كبرى العقبات التي تعترض تزويد سيارات المستقبل التي تعمل بخلايا الوقود، تحميلها كمية من غاز الهيدروجين تكفي لسيرها المسافة الدنيا التي يطلبها المستهلكون والمقدرة بنحو 300 ميل.
- غالبا ما يُخزن الهيدروجين في درجات الحرارة الاعتدالية على شكل غاز شديد الانضغاط في خزانات تتحمل هذا الضغط العالي، إلا أنها لا تتسع لحمل ما يكفي منه؛ وبالمقابل فإن نظم تخزين الهيدروجين السائل التي تحتاج إلى درجات حرارة شديدة الانخفاض، تعاني بدورها عقبات كبيرة.
- يجري حاليا تطوير تقانات تخزين بديلة، تحقق للهيدروجين كثافات مرتفعة، إلا أن أيا منها لم يثبت جدارته حتى الآن في التغلب على العقبات القائمة.

صبط عمليات التخزين وأمانها، وتأمين الوسيلة التي تتيح حمل ما يكفي من الهيدروجين لقطع المسافة الدنيا المقبولة في يومنا وهي 300 ميل في خزان وفود لا يشكل حجمه مصدر إزعاج لركاب السيارة ولما كان الأمثلة والحقائق فيها، وعليهم كذلك إيجاد الوسائل التي تتيح تحرر الوقود الغازي في درجات الحرارة الاعتدالية وانطلاقه بمعدلات تدفق تحقق للسيارات التسارع المطلوب على الطرق السريعة. كما تتيح إمكانية إعادة ملء الخزان في دقائق قليلة وبأسعار معقولة. علما بأن تقنيات تخزين وقود الهيدروجين الغازي ما زالت حتى يومنا هذا قاصرة وبعيدة جدا عن تحقيق هذه الأهداف.

لذلك يبذل الباحثون العاملون في صناعة السيارات، في كافة القطاعات الحكومية والأكاديمية ومراكز الأبحاث، في جميع أرجاء العالم جهودا كبيرة لتدارك هذا القصور والتغلب عليه. كما أن الاتفاقية التي وقعتها الوكالة الدولية للطاقة سنة 1977 حول استخدام الهيدروجين تضم اليوم أكبر مجموعة دولية تعالج قضايا تخزين الهيدروجين، حيث يعمل فيها أكثر من 35 باحثا في ثلاثة عشر بلدا، كما أن الشراكة العالمية لاقتصاد الهيدروجين التي تشكلت في سنة 2003، تضم اليوم 17 حكومة التزمت كلها بدعم تقانات استخدام الهيدروجين وخلايا الوقود. كما وضعت وزارة الطاقة في الولايات المتحدة الأمريكية في سنة 2005 مشروعا وطنيا لتخزين الهيدروجين يشارك فيه ثلاثة مراكز أبحاث متميزة والعديد من الصناعات والجامعات ومختبرات الأبحاث الفدرالية في مجالات أبحاث أساسية وتطبيقية. وقد قدم هذا المشروع في عام 2006 أكثر من 30 مليون دولار لتمويل نحو 80 مشروع بحث.

عوائق البنى التحتية

بعد الحجم الكبير للمواضيع الذي تطرحه مسألة خلايا الوقود الهيدروجيني أحد العوائق التي تحول دون تبني هذه الخلايا على نطاق واسع في السيارات والشاحنات، فالناقلات العامة في الولايات المتحدة وحدها تستهلك نحو 383 مليون غالون من الكازولين في اليوم (أي ما مقداره 140 بليون غالون في السنة)، وهو ما يشكل نحو ثلثي الاستهلاك القومي من النفط، الذي تستورد أكثر من نصفه من بلاد تقع في ما وراء البحار. لذلك تبدو الحاجة واضحة إلى استثمار مبالغ طائلة لتحويل صناعة السيارات في الولايات المتحدة إلى صناعة سيارات تعمل بخلايا الوقود، وكذلك لتحويل شبكة مصافي تكرير النفط ومحطات توزيع مشتقاته المنتشرة في جميع أرجاء البلاد، إلى محطات يتم فيها التعامل مع كميات كبيرة من الهيدروجين. كما أن على السيارات التي تعمل بخلايا الوقود أن تكون قادرة على منافسة السيارات الحالية من حيث رخص ثمنها وطول عمرها وجودة أدائها وعليها أيضا تلبية متطلبات الأمان اللازمة والتغلب على الموقف السلبي للجمهور تجاهها، الذي لم تعب عن ذهنه ذكرى مأساة منطاد airship هندنبرك في سنة 1937، التي لا يزال الناس يعتقدون أن غاز الهيدروجين مسؤول عنها. على الرغم من توفر العديد من الأدلة المؤثرة التي تؤكد أن مسؤولية اشتعال الحريق في المنطاد تقع على طبيعة سطحه الخارجي القابل للاشتعال.

وترجع صعوبة تخزين كمية كافية من الهيدروجين في السيارة إلى طبيعة هذه المادة، فالهيدروجين، في درجة الحرارة الاعتيادية



سوف تقدم محطات تزويد السيارات بغاز الهيدروجين في المستقبل خدماتها باستخدام أحد نظم التخزين التي يجري تطويرها في الوقت الحاضر.

غاز الهيدروجين، وأخيرا فإن على نظام التخزين أن يكون قادرا على إطلاق الهيدروجين بمعدل يكفي ليكون أداء مجموع خلية الوقود والمحرك الكهربائي قادرا على تأمين الطاقة والتسارع اللذين يتوقعهما السائق

تخزين الهيدروجين^(١)

يجري تخزين الهيدروجين اليوم في معظم نماذج السيارات العاملة بخلايا الوقود، التي يبلغ عددها بضع مئات، في أسطوانات تتحمل ضغوطا مرتفعة كتلك المستخدمة للغطس تحت الماء، وقد سمح التطور التقني الذي لحق بصناعة الخيوط الجراحية وبصناعةلياف الكربون، بصنع خزانات شديدة المتانة وخفيفة الوزن يمكن حمل الهيدروجين فيها تحت ضغط يراوح بين 5000 و 10 000 باوند/بوصة مربعة "psi" (350 إلى 500 ضغط جوي) (انظر المظهر في الصفحة 22) إلا أن زيادة الضغط المطبق على الخزان لا تعني بالضرورة زيادة كثافة الهيدروجين فيه على نحو يتناسب وتلك الزيادة، فأفضل كثافة طاقة تم تحقيقها في خزانات بلغت قيمة الضغط المطبق عليها 10 000 باوند/بوصة مربعة (وهي ما يقابل تركيزا للهيدروجين مقداره 39 غرام/لتر) تبلغ نحو 15% من طاقة الكازولين الذي يحمله الحجم ذاته وتحمل خزانات الضغط العالي حاليا نحو 3.5% إلى 4.5% من وزنها هيدروجينا. وقد صنعت شركة فورد مؤخرا نموذج سيارة رياضية تعمل بمحرك هجين "hybrid" يتم فيه تخزين 4.5 كغ من وقود الهيدروجين في خزان تحت ضغط مقداره 5000 باوند/بوصة مربعة، وتبلغ المسافة العظمى التي تقطعها السيارة بهذا الوقود 200 ميل.

تتقبل وسائط النقل الكبيرة، مثل الباصات والشاحنات وسواها لكبر حجمها، خزانات الضغط العالي التي يتم فيها تخزين كميات كافية من الهيدروجين، في حين لا تستطيع سيارات الركاب حمل مثل هذه الخزانات كما أن تكلفة هذه الأخيرة تزيد بأكثر من عشرة أضعاف على تكلفة الخزانات المستخدمة حاليا في السيارات

يمكن تحسين كثافة الهيدروجين بالطاقة بتخزينه مميّعا، حيث يتم احتواء أكبر قدر منه في الحجم المحدد لأي خزان محتمل، والهيدروجين

(١) Containing Hydrogen (١)

(١) رطل إنكليزي لكل بوصة مربعة

(٢) وهو محرك يعمل بالكازولين كما يعمل بخلايا الوقود

وتحت الضغط الجوي (الذي تبلغ قيمته 14.5 باوند/بوصة مربعة "psi") يكون على شكل غاز تبلغ كثافته الطاقةية 1/3000 من كثافة الكازولين الطاقةية، وهذا يعني أن مل، خزان سيارة اعتيادية سعته 20 غالونا بهذا الغاز تحت ضغط جوي واحد، يجعلها تسير مسافة 300 قدم فقط؛ لذلك يعمل المهندسون، بغية تحسين أداء الهيدروجين، على زيادة كثافته الطاقةية في جميع أنظمة التخزين التي يعملون عليها.

يُعدّ التوصل إلى جعل السيارات العاملة بوقود الهيدروجين تقطع المسافة الدنيا المقدرة بنحو 300 ميل، أحد الأهداف العملياتية الأساسية التي تسعى الجهود المشتركة الحكومية والصناعية إلى بلوغها من خلال تطوير تقنيات متطورة لسيارات المستقبل. ويعتمد المهندسون لذلك طريقة مفيدة في حساباتهم مفادها أن غالونا واحدا من الكازولين، يعادل - من منظور طاقي - 1 كغ (2.2 باوند من الهيدروجين). وتحتاج السيارات العادية الحالية إلى نحو 20 غالونا من الكازولين لقطع مسافة 300 ميل، وهذا يعني أن سيارة نموذجية تعمل بخلايا الوقود سوف تحتاج إلى نحو 8 كغ من الهيدروجين (بسبب مردوده العملياتية الأعلى) وقد تحتاج سيارات أخرى، تبعاً لنوعها وقياسها، إلى أكثر أو أقل من ذلك. وبيّنت التجارب المجراة على نحو 60 نموذجا من خلايا الوقود التي طورها العديد من الشركات المصنّعة للسيارات أن المسافة التي تقطعها سيارات الخلايا تراوح ما بين 100 و 190 ميلا

وإن نجد السعي نحو الوصول إلى هدف عملي قد يمكن بلوغه في عام 2010 (حيث تتوقع بعض الشركات رؤية أول سيارات تعمل بخلايا الوقود تسير على الطرقات)، يقارن الباحثون أداء تقانات تخزين مختلفة تسعى إلى حمل علامة bench mark 6% وزنا، وهو ما يعني نظام تخزين يحوي 6% من وزنه هيدروجينا، بحيث يمكن تخزين 6 كغ من الهيدروجين في نظام تخزين يزن 100 كغ، وهو قياس ملائم للسيارات وعلى الرغم من صغر ما تبدو عليه هذه النسبة فإن الوصول إليها أمر عسير جدا، إذ إن أفضل ما يمكن تحقيقه اليوم، باستخدام خزانات تعمل تحت ضغوط منخفضة نسبيا، لا يصل إلى 2% كما أن تصنيع نظم تخزين تقارب في حجمها حجم خزان الوقود في سيارة اعتيادية تعمل بالكازولين، قد يكون أكثر صعوبة، لأن جزءا كبيرا من الحيز المخصص له سوف يُشغل بالخزان والصمامات والأنابيب والمنظّمات والمحسات وتدابير العزل الحراري وأمر أخرى يتطلبها حمل 6 كغ من



طبيعة تجهيزات الاحتواء والعزل فيها (انظر المؤطر في الصفحة 23) إلا أن هناك عقبات كثيرة أمام استخدام الهيدروجين المميع أولاًها أن درجة غليانه الشديدة الانخفاض تقتضي تأمين تجهيزات تبريد شديدة الفعالية واتخاذ إجراءات احتياطية لضمان تدبره كما يجب عزل خزاناته بصورة محكمة ومتقنة، وأخيراً فإن هذا التميع يحتاج إلى

مثل أي غاز آخر، يتكاثف عند تبريده في درجة حرارة شديدة الانخفاض متحولاً إلى الحالة السائلة؛ ويجري ذلك في درجة الحرارة -253°C وتحت الضغط الجوي العادي وتبلغ كثافة الهيدروجين السائل 71 غرام/لتر، وهو ما يعادل 30% من كثافة الكازولين الطاقية. أما كثافة الهيدروجين الوزنية التي يمكن تحقيقها في نظم التخزين فتتوقف على

التحدي أمام عمليات التخزين

2015 لتحقيق أداء أفضل، إلى تلبية متطلبات الأعداد المتزايدة من أسيارات المتوفرة حينها. تأخذ القيم المدونة أدناه بالاعتبار التجهيزات اللازمة لتشغيل كل واحد من الأنظمة المختلفة: الكثافة الحجمية للهيدروجين السائل، مأخوذاً لوحده، تبلغ 71 غرام/لتر، وهي تنخفض إلى نحو 40 غرام/لتر عند أخذ الخزان وملحقاته بالاعتبار ولا تظهر على الشكل البيانات الخاصة بالمواد التي تمتاز الهيدروجين (انظر المؤطر في الصفحة 25) التي ما زالت في مراحل مبكرة من تطويرها ولا تتوفر أي بيانات عن سعتها أو عن تكلفتها

يجب أن يحمل نظام تخزين وقود الهيدروجين ما يكفي منه لجعل السيارة تسير مسافة 300 ميل على الأقل؛ ويجب أيضاً أن يكون مدمجاً، خفيف الوزن، سهل تركيبه على السيارة. ويتطلع الباحثون إلى التوصل في سنة 2010 إلى نظام تخزين يحوي 6% من وزنه هيدروجيناً. ويحمل 45 غراماً من الهيدروجين في اللتر قد يلبي هذا النظام (الممثل بالهدف الدائري في الشكل الأيسر) حاجة الجيل الأول من السيارات العاملة بحلايا الوقود. علماً بأن أيًا من الخيارات المتاحة في الوقت الحاضر لا يسمح ببلوغ هذا الهدف وسوف تكون هناك حاجة في عام

سعات أنظمة تخزين الهيدروجين



التكلفة التقديرية



projected system (Y)

degree Celsius (X)

The storage Challenge (2)

الحاضر إلى إيجاد مواد يمكنها تحقيق هذا الغرض

ويركز بعض الباحثين جهودهم على صنف من بعض المواد المعروفة باسم «هيدريدات الفلزات» metal hydrides العكوسة، تم اكتشافها بمحض المصادفة في مختبرات شركة فيليبس بهولندا سنة 1969، حين لوحظ أن سبيكة مصنوعة من فلزي الساماريوم والكوبالت samarium-cobalt تمتص غاز الهيدروجين عند وضعها في جو مضغوط منه، كما يمتص الإسفنج الماء. وعند إبعاد هذا الضغط المرتفع يتحرر الهيدروجين من السبيكة، وهذا يدل على أن له تأثير امتصاص عكوسا

وما لبثت أبحاث مكثفة أخرى أن لحقت بخطى هذا الاكتشاف، فكان «د. رايلي» [في مختبر بروك هافن الوطني] و«د. ساندروك» [في مركز إنكو للأبحاث والتطوير بولاية نيويورك] رائدين في تطوير سبائك من هيدريدات ذات قدرة ممتازة على امتصاص الهيدروجين؛ وكان عملهم المبكر هذا الأساس الذي قامت عليه صناعة بطاريات هيدريدات النيكل الواسعة الانتشار اليوم. والتي بلغت كثافة الهيدروجين فيها قيمة عالية جدا تزيد بنحو 150% على ما هي في الهيدروجين السائل، وحيث تتقارب ذرات الهيدروجين فيما بينها إلى حد كبير بسبب حشرها بين ذرات الفلز في شبكته البلورية crystal lattice [انظر المؤطر العلوي في الصفحة 24]

تمتلك هيدريدات الفلزات العديد من الخصائص التي تجعلها تلبي بصورة جيدة متطلبات الاستخدام في السيارات، فهي تؤمن كثافة هيدروجينية أعلى مما يؤمنه الهيدروجين السائل وتحت ضغوط منخفضة نسبيا تراوح بين 10 و 100 ضغط جوي؛ كما أنها ثابتة بطبيعتها بحيث لا يحتاج حفظها وتخزينها إلى بذل أي طاقة إضافية، مع حاجتها إلى طاقة حرارية لإطلاق الغاز الذي تخزنه. أما نقطة ضعفها، فنكمن في كبر كتلتها، حيث يعد وزنها عائقا أمام تخزينها في السيارات. وقد توصل الباحثون في مجال الهيدريدات الفلزية في الوقت الحاضر إلى تحقيق سعة هيدروجينية فيها حدّا أقصى 2% من وزنها الكلي، وهذا يعني الحاجة إلى نظام تخزين يزن 1000 باوند (ويسمح للعربة بقطع مسافة 300 ميل)، وهو رقم كبير جدا بالنسبة إلى السيارات العاملة في الوقت الحاضر والتي تزن نحو 3000 باوند

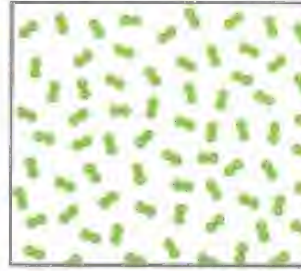
تركز دراسات هيدريدات الفلزات في الوقت الحاضر على مواد تحوي بطبيعتها نسبة مرتفعة من الهيدروجين، حيث يصار إلى تعديلها على نحو يتيح لها تلبية متطلبات أنظمة تخزين هيدروجين تعمل في درجات حرارة قريبة من الدرجة 100°C. وتحت ضغط يراوح بين 10 و 100 جو، ويجعلها تطلق هيدروجينها بسرعات تحقق التسارع الذي تتطلبه السيارات السريعة هذا ولأن الكثير من هذه المواد العالية المحتوى من الهيدروجين ثابتة إلى حد بعيد، فهي تحتاج لتسخينها إلى درجات حرارة مرتفعة نسبيا لإطلاق هيدروجينها فهيدريد المكنيزيوم مثلا، الذي يحوي 7.6% من وزنه هيدروجينا. يطلق غازه عند نحو الدرجة 300°C وإذا أردنا الاستفادة من الطاقة الحرارية الضائعة التي تحملها عوادم خلايا الوقود، التي تبلغ درجة حرارتها نحو 800°C، لإطلاق عملية تحرير الهيدروجين من هيدريد المكنيزيوم، وجب السعي إلى خفض درجة حرارة الإطلاق

Chemical Compaction (11)
atmospheres (12)

COMPRESSED HYDROGEN (11)
Achilles' heel (12)

هيدروجين مضغوط

كثافة التخزين



أسطوانتان متينة وخفيفة الوزن، تحصل مضغوطا عالية، مثل أسطوانتان الغواصين. يعبأ فيها الغاز المضغوط تحت ضغط يراوح بين 5000 و 10 000 باوند/ بوصة مربعة (psi).



الوضع الحالي

متوفرة

الإيجابيات السلبية

خفيفة الوزن
شجرة الحجم تحتاج إلى الضغط تحت ضغط عال وإلى إعادة تعبئة

طاقة تزيد على ما تتطلبه عملية انضغاط الغاز تحت ضغط مرتفع. تؤدي هذه المتطلبات إلى ارتفاع سعر وقود الهيدروجين السائل، وإلى تدني مردود الطاقة الإجمالي لعملية التبريد الشديد (القرية) cryocooling ومع ذلك فقد عمدت إحدى شركات تصنيع السيارات، وهي الشركة BMW، إلى تبني هذه الطريقة. وهي تخطط لصنع سيارة خلال هذا العام، أطلقت عليها اسم «هيدروجين 7»، بمحرك احتراق داخلي يعمل إما على الغازولين (لمسافة 300 ميل)، أو على الهيدروجين السائل (لمسافة 125 ميلا). وسوف تباع هذه السيارة على نطاق محدود ولربما من مختارين في الولايات المتحدة وفي بلدان أخرى تتوفر فيها محطات التزود بوقود الهيدروجين

الانتراز (الاندماج) الكيميائي

قد يستفيد الباحثون اليوم من كيمياء عنصر الهيدروجين في سعيهم إلى إيجاد طرق تتيح لهم زيادة الكثافة الطاقية لوقوده. فجزئياته، في حالته النقية وفي طوريه الغازي والسائل، تتشكل من ذرتين مرتبطتين إحداهما بالأخرى؛ إلا أنه يمكن ربط هذه الذرات كيميائيا بذرات بعض العناصر الأخرى على نحو تكون فيه أقرب، بعضها من بعض. مما في الهيدروجين السائل. وتسعى أبحاث تخزين الهيدروجين في الوقت

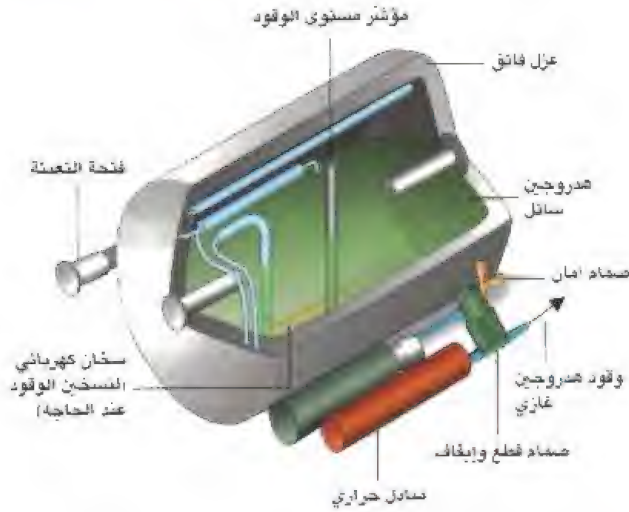
الهيدروجين السائل²

كثافة التخزين



هيدروجين

يتكاثف الهيدروجين ويصبح عند تبريده إلى الدرجة -253°C، وتتطلب إحفاظة على درجة الحرارة هذه الكثيف من تجهيزات العزل ومن تجهيزات مساعدة أخرى



النوع الحالي

متوفر

السليبات

فقد مستمر للوقود بسبب المسخن - الحاجة إلى طاقة لتجميع الهيدروجين

الإيجابيات

خفيف الوزن وصغير الحجم

20 سنة باستخدام نظام مكون من مائتي الديكاليين والنفثالين. يتحول الديكاليين السائل (وصيغته $C_{10}H_{18}$) عند تسخينه إلى مركب كيميائي ذي رائحة واخرة، هو النفثالين (وصيغته $C_{10}H_{12}$)، حيث تتغير طبيعة الروابط الكيميائية في جزيء الديكاليين، وتنتقل من هذا التحول خمسة جزيئات من غاز الهيدروجين. ومع تعرض النفثالين إلى جو من غاز الهيدروجين تحت ضغط معتدل، ينعكس هذا الإجراء، فيمتص النفثالين الهيدروجين ويتحول ثانية إلى ديكالين decalin (يبلغ وزن الهيدروجين المحتص 6.2% من وزن النفثالين) ويعمل الباحثان الكيميائيان <A> كوبر<A> و<G> بيز<A> [من شركة منتجات الهواء والكيميائيات في ولاية بنسلفانيا] على تقنيات مماثلة مستخدمين مركبات عضوية سائلة (ذات أساس هيدروكربوني) كما يعمل باحثون آخرون على مواد سائلة جديدة تحمل الهيدروجين، مثل البورانات الأمينية aminoboranes القادرة على تخزين كميات كبيرة من الهيدروجين وإطلاقه في درجات حرارة معتدلة.

Hydrex Camers (100)

Destabilized Hydrogen (100)

LIQUID HYDROGEN (100)

11 مر بينهم <S> توماس أوتري<A> وفريقه [في المختبر الوطني لبحال غرب الباسيفيك] وأستاذ الكيمياء <G> سيدون<A> [في جامعة بنسلفانيا]

يسعى الكيميائيان <A> (فاجو<A> و<G> أولسن<A> [من مختبرات HRL في كاليفورنيا])، كما يسعى باحثون غيرهم في مواقع أخرى، إلى استكشاف خيارات أو مقاربات ذكية للتغلب على الصعوبة التي يسببها ارتفاع درجة حرارة الإطلاق: وتجمع هيدريداتهم «القليلة الثبات» مواد عدة تعمل على تبديل مسار التفاعل، بحيث تطلق المركبات الناتجة ما تحويه من هيدروجين في درجات حرارة أكثر انخفاضاً.

والهيدريدات القليلة الثبات تنتمي إلى صنف من المواد المسماة الهيدريدات المعقدة، والتي تحوي غاز الهيدروجين في تركيبها وقد ظن الكيميائيون لأمد طويل أن العديد من هذه المواد لا يصلح للاستخدام وقوداً للسيارات. فهي مركبات غير عكوسة، إذ تحتاج بعد تفككها وإطلاقها ما تحمله من هيدروجين، إلى معالجة لاحقة تعيدها إلى حالتها الأولية المهدرجة. وقد ادّعى الكيميائيان بوكدانوفيتش<A> و<M> شويكاردي<A> [من معهد ماكس بلانك لأبحاث الفحم في ألمانيا] عام 1996، حين قدّموا الدليل على أن معقد هيدريد ألانات الصوديوم يصبح عكوساً عندما يضاف إليه مقدار يسير من فلز التيتانيوم. وقد أطلق هذا العمل موجة من النشاط خلال العقد الماضي: فتم في مختبرات HRL تحضير معقد قليل الثبات من بوروهيدريد الليثيوم وهيدريد المكنيزيوم يحمل، بصورة عكوس، 9% من وزنه هيدروجيناً ويعمل في درجة الحرارة 200°C. واعتُبر هذا التحسين أمراً جديراً بالملاحظة مع أن درجة حرارة عمل المعقد ظلت مرتفعة على نحو ما، وظلت سرعة انطلاق الهيدروجين منه بطيئة جداً، وهذا يحول دون استخدامه وقوداً للسيارات ومع ذلك فقد كان عملاً واعداً.

وعلى الرغم من القيود التي تحدّ من استخدام هيدريدات الفلزات في الوقت الحاضر، فإن العديد من الشركات المصنعة للسيارات يُرى فيها الخيار الأفضل الذي يعمل تحت ضغط منخفض والاكثر قابلية للحياة على المدى القريب والمدى المتوسط ففي شركتي تويوتا وهوندا، يخطط المهندسون المصممون لمقاربة هجينة في نظام يعمل فيه هيدريد فلزي صلب تحت ضغط معتدل نسبياً (أخفض على نحو ملحوظ من 10 000 psi)، وقادر كما يتوقعون، على قطع مسافة تزيد على 300 ميل. كما يدعم فريق من خبراء التخزين في شركة جنرال موتورز، من بينهم <S> جورجنسن<A> أبحاثاً تجري في بلدان عدة (من بينها روسيا وكندا وسنغافورة) عن طيف واسع من نظم هيدريدات الفلزات. وتتعاون الشركة مع مختبرات سانديا الوطنية في برنامج يمتد على أربع سنوات، بمخصصات تبلغ 10 ملايين دولار. لصنع نموذج نظام يعمل بمعقد هيدريد فلزي.

حوامل الهيدروجين³

وهناك خيارات مقاربات أخرى تتمتع بميزة إمكانية عملها في السيارات بصورة جيدة، لكنها تواجه، بدورها، صعوبة تبدو في مرحلة التزويد بالوقود. ذلك أن هذه الهيدريدات تحتاج إلى معالجات صناعية لإعادة تكوين مادتها المستهلكة، وهي خطوة ينبغي أن تتم خارج العربة؛ إذ ما إن ينطلق الهيدروجين المختزن في النظام المعتمد، حتى يُسلم ما تبقى منه إلى محطة تزويد بالوقود ليصار إلى معالجته في وحدة معالجة كيميائية (انظر المؤطر السفلي في الصفحة 24)

وقد درس فريق من الباحثين اليابانيين هذه المقاربة منذ أكثر من

هيدرات معقدة

الوضع الحالي
قيد التطوير.

المميزات

صغير الحجم، يمكن إعادة تعبئته على السيارة، كما يمكن العمل تحت ضغوط منخفضة أو متوسطة غير كافية.

العيوب

مرتفع الوزن، يعمل في درجات حرارة مرتفعة، ويتفكك الوقود منه بصورة غير كافية.

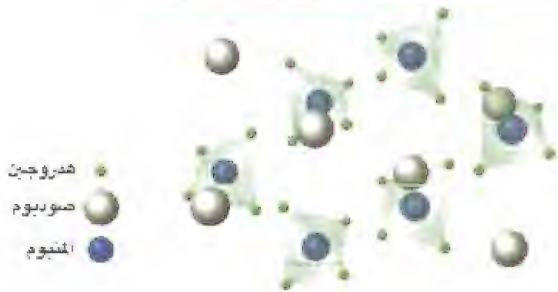
كثافة التخزين



هيدريد معقد

هيدروجين
ذرة فلز
مادة مصافهة

يشكل الهيدروجين، بارتباطه بفلزات ومواد أخرى، هيدرات فلزية (كيميائية) (في أسفل الصفحة)، وهيدرات معقدة (في اليسار الشكل). ويتحرر الوقود الهيدروجيني، عند الحاجة إليه، بتسخين هذه المعقدات.



هيدريد الصوديوم والالسيوم (مثال عن هيدريد معقد)



قيمتها في بعضها 5000 كم/لغرام الواحد، وهذا يعني إمكانية نفطية مساحة تبلغ ثلاثة أقدنة (نحو 12 000 أم) بملء ملعقة صغيرة من مسحوق هذه المادة وتستدعي الاهتمام من بين هذه المواد، تلك المصنعة من عنصر الكربون. وذلك لخفة وزنها وانخفاض تكلفتها وإمكانية تشكيل العديد من البنى الثانوية القياس منها من أنابيب نانوية إلى أنابيب على شكل ألياف مستديرة إلى الفوليرينات¹¹ fullerenes ذات الحزيمات الكروية الشكل، إلى الهلامات الهوائية (وهي أجسام صلبة ذات مسامية فائقة)

تصميم مواد جديدة

وتتوجه مقارنة أخرى لموضوع اختزان الهيدروجين نحو مواد خفيفة الوزن وذات سطح نوعي كبير جداً، يمكن لجزيئات الهيدروجين أن تلتصق بها (أو تُستَـز علىها) (انظر المظهر في الصفحة المقابلة). وكما يتوقع المرء فإن كمية الهيدروجين التي يمكن أن ترتبط بسطح مثل هذه المواد تتناسب مع مساحة هذا السطح. وقد أدت التطورات الحديثة في مجال الهندسة النانوية إلى تصنيع حشود من مواد ذات سطح نوعي عالٍ جداً تبلغ

هيدرات كيميائية

الوضع الحالي
قيد التطوير.

المميزات

حاجة المواد إلى المعالجة وإعادة الصلابة في خارج السيارة، الحاجة إلى تكلفة إضافية بسبب المعالجة في خارج السيارة وما تتطلبه من بنية خاصة.

العيوب

خفيف الوزن وصغير الحجم يمكن أن يكون سائلاً

كثافة التخزين



هيدروجين
عناصر وكيميائيات أخرى

تحتوي هذه المركبات التي قد تكون سائلة أو صلبة على الهيدروجين وبسبب الوقود الغازي منها عند تسخينها وتحريرها لحقاز (الصورة اليسرى) وبين المخططة (في أقصى اليسار) كيفية معالجة الهيدريد الكيميائي في خارج السيارة وإعادة تحميله بالهيدروجين بعد استخدامه



كاربازول الإثيل

CHEMICAL HYDRIDES (---)

Designer Materials (---)

COMPLEX HYDRIDES (---)

11: أي بمقياس النانو، وهو ما يعادل 10^{-9} من وحدة القياس المعتمدة: فالنانومتر يعادل 10^{-9} متر.
12: الفوليرين هو الشكل المتغير الرابع لعنصر الكربون في الطبيعة وتتكون سبته من حلقات خماسية وحلقات سداسية متجاورة مترتبة على شكل كرة قدم. اكتشفه في سنة 1985 المهندس المعماري خورخين بوكينستر. ومنه أخذ اسمه أما الأشكال الثلاثة الأخرى لعنصر الكربون فهي الشكل والماس والكرافيت (الشحيرة)

مواد تمتاز الهيدروجين

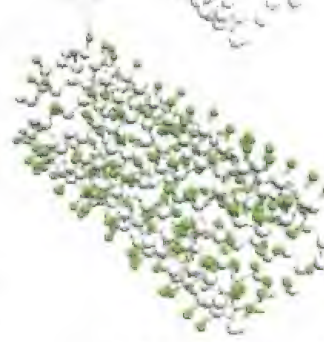
تمتاز (تعلق) ذرات الهيدروجين على سطح مواد تصمم على نحو خاص لذلك.



هيدروجين
مواد كيميائية ذات أساس كربوني أو سواها من البنى النانوية.

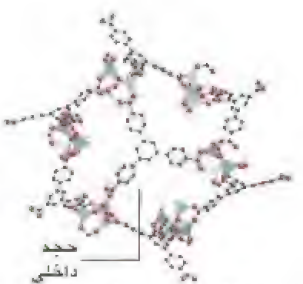


هيدروجين



أنابيب نانوية من الكربون

أنابيب نانوية من الكربون (أعلى اليسار) يمكنها حمل الهيدروجين عليها وتخزينه حتى نحين الحاجة إليه (أسفل اليسار) يصمم الكيميائيون بنى جزيئية نانوية عضوية تستطيع جزيئات الهيدروجين أن تعلق عليها (أسفل الشكل)



بنية فلزية عضوية

جامعة كاليفورنيا بيلوس أنجلوس]. ويشار إلى هذه المواد بالرمز MOF's. وهو ما يعني البنى العضوية الفلزية metal-organic framework's. وقد بين «ياغي» والعاملون معه أنه يمكن تصنيع هذا الصنف الجديد من المواد البلورية ذات السطوح العالية المسامية، بربط مركبات لاعضوية ببعضها بواسطة دعائم struts من مركبات عضوية (انظر المظهر في هذه الصفحة). ولهذه المركبات التركيبية بنى جميلة المظهر، كما يمكن التحكم في خصائصها الفيزيائية على نحو تغدو معه قدرة على تحقيق وظائف ومهام مرغوبة. كما أن لهذه البنى اللامتجانسة سطوحا نوعية كبيرة جدا تبلغ 5500 م²/غرام، ويمكن تكليفها بإقامة مواقع كيميائية عليها تحقق ارتباطا أفضل لجزيئات الهيدروجين. وقد تمكن الباحثون حتى الوقت الحاضر من تصنيع بنى عضوية فلزية يمكنها حمل 7% من وزنها هيدروجينا في الدرجة -196°C وهم يتابعون البحث لدعم هذا الأداء وتحسينه.

وعلى الرغم من أن التقدم الذي تشهده حاليا طرق تخزين الهيدروجين يعد مشجعا، فإن الوصول إلى المقاربة الأمثل لحل مسألة التخزين أمر يحتاج إلى الوقت ويتطلب الصبر والأناة والأبحاث الخلاقة والجهود التطويرية. لقد ظل الأمل - والتحدي - باستخدام الهيدروجين في وسائط الانتقال، على حاله قرونا طويلة لم تلحقه فيها أية تغيرات أساسية. لقد حمل «جك شارل» الهيدروجين المعبأ في حاوية خفيفة الوزن، والذي مكّنه من التنقل في الأجواء في منطاده في العقود الأخيرة من القرن الثامن عشر. وسوف يتيح إيجاد حاوية تحمل الهيدروجين على متن السيارات إمكانية التنقل في أرجاء العالم في العقود القادمة من القرن الحادي والعشرين دون خشية من إفساد الجو وتلويث البيئة.

HYDROGEN ADSORBENTS (١)

المؤلفون

Sunita Satyapal - John Petrovice - George Thomas

يعملون جميعا في برنامج وزارة الطاقة بالولايات المتحدة الأمريكية في مجال الأبحاث التطبيقية والتطويرية لتقانة تخزين الهيدروجين. شغل ساتياپال عدة مناصب في الجامعات وفي الصناعة، وهو الآن رئيس الفريق العامل في وزارة الطاقة في مجال الأبحاث التطبيقية والتطويرية لتقانة تخزين الهيدروجين. أما جيتروفييتش - [وهو متقاعد حاليا] - فزميل في المختبر الوطني بيلوس الأموس ومستشار في وزارة الطاقة وعضو في كل من جمعية الخزف الأمريكية والجمعية الأمريكية للمواد. أما توماس - [وهو الآن مستشار لدى وزارة الطاقة] فهو خيرة تعتمد لأكثر من ثلاثين سنة في دراسة تأثيرات الهيدروجين في الفلزات بمختبرات سانديا الوطنية. إن الآراء الواردة في هذه المقالة تعبر عن وجهة نظر المؤلفين ولا تعبر عن آراء وزارة الطاقة في الولايات المتحدة الأمريكية.

مراجع للاستزادة

The Hydrogen Economy: Opportunities, Costs, Barriers, and R&D Needs. National Research Council and National Academy of Engineering. National Academies Press, 2004. Available at www.nap.edu/catalog.php?record_id=10922

Hydrogen Program: 2006 Annual Merit Review Proceedings. U.S. Department of Energy. Available at www.hydrogen.energy.gov/annual_review06_proceedings.html

United States Council for Automotive Research: www.uscar.org
International Energy Agency's Hydrogen Implementing Agreement: www.ieahia.org

International Partnership for the Hydrogen Economy: www.iphe.net

Scientific American, April 2007

الوضع الحالي

التحديات

الإيجابيات

في مرحلة مبكرة من البحث والتطوير.

كثير الحجم - قد يتطلب عمله درجات حرارة منخفضة.

خفيف الوزن - يعمل على نحو عكوس في السيارة، يمكن أن يعمل في درجة حرارة الغرفة.

ومنها أيضا الكربون المنشط وهو مادة رخيصة الثمن، يمكنها احتزان حتى 5% من وزنها هيدروجينا.

ومع ما لهذه البنى الكربونية ذات السطح النوعي المرتفع جدا من مزايا فإن أمامها جميعا عائقا مشتركا يحد من إمكانية استخدامها، فارتباط جزيئات الهيدروجين بذراتها ارتباطا واما يقتضي معه حفظها في درجات حرارة شديدة الانخفاض وقريبة من درجة حرارة النيتروجين السائل وهي -196°C. لذلك يوجه الباحثون سعيهم فيها - على خلاف الباحثين في مجال الهيدريدات الفلزية الذين يسعون إلى خفض طاقة ارتباط الهيدروجين بها - لاستكشاف وسائل ترفع من قيمة طاقة الارتباط هذه، وذلك بتعديل طبيعة سطوحها أو بإضافة مواد جديدة إليها تبذل من خصائصها: يستخدم هؤلاء الباحثون نماذج نظرية لبنى كربونية بغية التوصل إلى تحديد الأنظمة الواعدة الأفضل لتهيئة لدراسات لاحقة تجرى عليها.

وعدا هذه المقاربات التي تتوجه نحو مواد ذات أساس كربوني، فإن هناك مقاربة مغرية أخرى لهندسة نانوية تُوجه صوب مجموعة من مواد تعرف بالمواد العضوية-الفلزية، كان قد اكتشفها منذ سنوات قليلة «عمر ياغي» [أستاذ الكيمياء في جامعة ميتشيكان بان هاربر، وهو حاليا في

هل هناك شفاءً من الكلب؟^(*)

إن بقاء مراهقة على قيد الحياة
بعد إصابتها بالكلب ربما يشير إلى
سبيل لمعالجة هذا المرض المروع.

<E.R> ويلوكباي جوثير



وقد يصبح الشفاء من الكلب
هبة للعالم النامي، فالمرض نادر في
الولايات المتحدة الأمريكية وأوروبا، لأن
حملات برامج الصحة العامة قد قضت تقريباً
على الفيروس في الحيوانات الأليفة، مثل: الكلاب
والقطط والماشية. ولا يموت إلا مريضان أو ثلاثة كل
عام في الولايات المتحدة، وهذا يعني أن فرصة الشخص أن
يصاب بالمرض هي نحو واحد لكل 100 مليون. (في الحقيقة إن
المرض هو من الندرة في الولايات المتحدة إلى حد أنه لا يتم تعرفه
في نصف عدد المرضى إلا بعد أن يموتوا). ولكن منظمة الصحة
العالمية تقدر أن الكلب يقتل 55 000 فرد سنوياً في آسيا وإفريقيا
 وأمريكا اللاتينية، وأن معظم الضحايا يصابون بالعدوى نتيجة
لعرض الكلاب. وإذا تمكن الباحثون من تحليل بروتوكول ميلووكي
كما يجب وتعرفوا معالجه غير مكلفة قد تكون لها فوائد مماثلة
فإن العلاج الناتج قد ينقذ آلاف الأرواح.

عضة خفاش^(**)

إن الكلب هو فيروس رنوي RNA virus يحتوي على الرنا
RNA، وهذا يعني أن له غشاءً خارجياً وأنه يستخدم حمض
الريبونوكليك كمادته الجينية عوضاً عن حمض الديوكسي
ريبونوكليك (الدنا DNA) الذي يستخدمه الإنسان وجميع
أشكال الحياة الأخرى. إن هذا الميكروب⁽¹⁾ الذي يشبه
الرصاصه يغزو خلايا الإنسان ويدفعها بعنف لإنتاج فيروسات

إن الكلب واحد من أكثر الأمراض قدماً وترويعاً للناس.
فهو يهاجم الدماغ مسبباً تهيجاً وذعراً واختلاجات عنيفة.
ويعاني الضحايا تقلصات مؤلمة في الحلق عند محاولتهم
الشرب أو الأكل. ويعقب ذلك شلل، إلا أن البشر المصابين
بالكلب يبقون يقظين بصورة متقطعة وحتى قرب حلول الموت
ويكون بإمكانهم التعبير عن مخاوفهم ومعاناتهم لأسرهم
وللقائمين على رعايتهم. ومع أن اللقاحات الخاصة بفيروس
الكلب تستطيع أن تمنع تطور المرض، إلا أن الأطباء، وحتى
عهد قريب، لم يكن لديهم أي أمل بالنسبة إلى المرضى الذين
أخفقوا في الحصول على التمتع باللقاح في أبكر فرصة بعد
تعرضهم للعض من حيوان مصاب بالكلب. وبمجرد ظهور
أعراض الكلب (نمطياً خلال شهرين من العضة) فإن الموت كان
عادة محتملاً في أقل من أسبوع.

ومع ذلك ففي عام 2004 كنت ضمن فريق من الأطباء في
مستشفى الأطفال التابع لولاية ويسكونسن، وقد تمكنا من
إنقاذ فتاة عمرها 15 عاماً من مثل هذا المصير. وبذلك صارت
حجيناً كيسياً [من ولاية ويسكونسن] أول ناجية غير محصنة
من الكلب (كذلك هناك خمسة أشخاص آخرون تم تلقيحهم،
لكن الكلب تطور لديهم على نحو ما ومع ذلك نجوا أيضاً).
لقد أثار علاجنا المبتكر، والمسمى بروتوكول ميلووكي، الجدل
بين الأطباء الاختصاصيين، وادعى البعض أن شفاء «حجيناً»
كان رمية من غير رام. ومع أن المحاولات القليلة لإعادة تطبيق
المعالجة لم تنقذ حياة أي مريض بالكلب غيرها، فبحماس،
نأمل أننا نسير على الطريق الصحيح. فعلى أقل تقدير، بدأ
الباحثون بإجراء دراسات على الحيوانات لتعيين أي من
العناصر في هذا البروتوكول قد يساعد على هزيمة الكلب.

A Bat Bite (**)

A CURE FOR RABIES? (*)

(1) الكائن المجهرى



التفاقم المروّع للكّلب^(١)

تستطيع اللقاحات ضد الكلب أن تمنع المرض من التطور إذا أُعطيت سريعا بعد تعرض المريض للعض من حيوان مصاب بالكلب، ولكن المرض يصبح مميتا لهؤلاء الذين يفشلون في الحصول على اللقاح.



المسار إلى الدماغ

إن عضّة حيوان مصاب بالكلب تُدخل اللعاب المملوء بالفيرس في الجرح. وبعد تكراره في موضع الجرح لمدة شهر يدخل الفيروس عصباً محيطياً، فإذا أصيبت عضونات حسية بالعدوى فإن الميكروبات تسافر إلى العقد الحسية عن طريق النخاع الشوكي، ثم إلى المهاد والقشرة الحسية. وقد يشكو المرضى من تنمل (وخز إبر ودبابيس) أو حسّ حرق أو حكة شديد. أما إذا أصيب عصبون حركي فإن الفيروس يصل إلى الدماغ عن طريق الأعصاب التي تربط النخاع الشوكي بالقشرة الحركية. وتتضمن الأعراض الضعف والشلل والتفضاض العضلية التي قد ترتقي إلى نوبات من التشنجات.

جديدة، ويُحدث ما يحدث عن تلف يصنع خمسة بروتينات ولأنها شديدة التخصص بالنمو في خلايا الدماغ والأعصاب فإن فيروس الكلب نادراً ما يمكن العثور عليه في أي مكان آخر في الجسم بعيد نقله عن طريق عضّة حيوان مصاب بالكلب (والتي تُدخل اللعاب المصاب بالعدوى في الجرح) يتضاعف الفيروس موضعياً في العضلات أو الجلد ولأن الفيروس يكون موجوداً بكمية ضئيلة جداً ولأنه لا ينتقل من خلال مجرى الدم أو العقدة اللمفاوية، فإن الجهاز المناعي للجسم لا يكتشف هذه الميكروبات (الأحياء المجهرية) في هذه المرحلة. وتستمر فترة الحضانة الخالية من الأعراض نمطياً من أسبوعين إلى ثمانية أسابيع، إلا أنها قد تمتد لعدة سنوات. وفي نقطة معينة تصل الفيروسات إلى أحد الأعصاب، وعندها تكون اللعبة قد انتهت.

في أواخر القرن التاسع عشر اكتشف عالم الميكروبات «لويس باستور» أن حقن فيروس الكلب المقتول يحقّن الجهاز المناعي على إنتاج أضداد ضد هذا الميكروب؛ والأكثر من ذلك فقد تبين لـ«باستور» أن الوقت اللازم للجسم لإنتاج تلك الاستجابة المناعية أقصر من فترة حضانة المرض وقد حقن فيروسات مقتولة مأخوذة من الأنخعة (الحبال) الشوكية للارانب المضموجة^(٢)، في الأفراد الذين عضتهم كلاب مصابة، فبقوا أحياء باكتساب المناعة قبل ظهور أي أعراض عندهم. وقد يتطور الكلب في الفسحة ما بين التمنيع والاستجابة المناعية، لذلك يحقن الأطباء مرضاهم بأضداد خاصة بالكلب لتغطية تلك الفجوة الزمنية هذا وتنظيف الجرح بطريقة ملائمة بالماء والصابون (الذي يقتل الفيروس بنزع غشائه) هو أمر مهم أيضاً، والوقاية فيما بعد التعرض للإصابة (العناية بالجرح وخمس حقنات من لقاح مأمون جداً وجعرة واحدة من الأضداد antibody) لم تفشل أبداً في الولايات المتحدة.

نظرة إجمالية/ أحجية داء الكلب^(٣)

- في عام 2004 أنقذ الأطباء حياة فتاة مراقبة التقطت الكلب من عضّة خفاش. وتضمن العلاج إحداث سبات (غيبوبة) وإعطاء عقاقير كافحت فيروس الكلب وصانته الدماغ.
- لا يعرف الباحثون لماذا نجحت المعالجة، ونجاحها لم يتم تكراره. ويحتاج الباحثون إلى أن يجربوا العلاج على الحيوانات المصابة بالكلب، ولكن الكليات البيطرية تعارض ذلك.
- إن بمقدور علاج للكلب، يمكن الاعتماد عليه وغير باهظ الثمن، أن ينقذ آلاف الأرواح في البلاد النامية، حيث لا يزال المرض شائعاً.

نائما في غرفة فيها خفاش (إلا إذا أمكن أسر الخفاش وتم اختبارها للتأكد من خلوه من الكلب). وقد نظفت «جيناً» الخدش لديها بماء الأكسجين (بيروكسيد الأكسجين) ولكنها لم تسع للحصول على التمنيع، ولو أنها فعلت ذلك لامتدت دراستها الثانوية في الصف الثاني من دون اضطراب.

وبدا من ذلك، تضاعف الفيروس في إصبع «جيناً» نحو الشهر، ثم دخل في أحد الأعصاب وانتقل بسرعة نحو دماغها متحركاً بسرعة نحو سنتيمتر واحد في الساعة. ولأن هذا الفيروس يستهدف الجهاز العصبي دون غيره (حيث لا تعمل أنواع عديدة من الخلايا المناعية) فإن الجسم لا يكتشف الفيروس إلا بعد أن يكون قد ارتشح بكثافة في الدماغ والنخاع الشوكي والمريض بالكلب يتطور لديه في النهاية شلل تام نتيجة خمج (عدوى) الأعصاب الحركية وفقد لكل الإحساس نتيجة خمج الأعصاب الحسية والآلية وراء هذا الفقد للنشاط

Overview: A Rabies Riddle (١٠١)
THE TERRIBLE COURSE OF RABIES (١٠٢)

(١) المصانة بالعدوى

المخاطية (في العين والجهاز التنفسي والفم) هو الكيفية التي تُديم الكُلب في الطبيعة. لقد ارندى أعضاء الفريق الطبي الذي كان يعتني بـ«جيناء» أغطية واقية للرأس وأقنعة للوجه وأردية واقية وقفازات طوال الشهر الأول لمرضها. واقتضى تشخيص الكُلب تحليل عينات من لعابها وجلدها ودمها وسائلها الشوكي ثم إرسال تلك العينات جواً إلى قسم الكُلب في مركز مكافحة الأمراض والوقاية منها (CDC) بولاية أتلانتا، وبإمكان هذا المختبر تقديم النتائج الأولية في أقل من 24 ساعة.

في تلك الأثناء قمت بفحص «جيناء»، وقد كانت نائمة، إلا أنها أدت الأوامر البسيطة، ولم يكن باستطاعتها استمرار الحفاظ على توازنها. وكانت تعاني ضعفاً في ساقها اليسرى، وكانت منعكساتها طبيعية، وهذا مكنتني من استبعاد احتمال شلل الأطفال أو فيروس غرب النيل، كذلك كانت ذراعها اليسرى تنتفض بتقطع، وكان نمط الخدر في يدها اليسرى ونفض ذراعها اليسرى يرتبطان بموضع عضلة الخفاش، ويقترح ذلك أن الكُلب أكثر من الاخماج الشائعة هو الذي يسبب التهاب الدماغ. ولأن الأطباء غالباً ما يعاينون صوراً غير نمطية لمرض شائع أكثر من مرض نادر حقاً، فقد طمأنت عائلة «جيناء» والمرضات بأنه من المستحيل تقريباً أن تكون «جيناء» مصابة بالكُلب، وقد راهنت على نوع آخر من التهاب الدماغ، الأرجح أن يكون مناعياً ذاتياً، وهو أكثر انتشاراً 1000 مرة من الكُلب.

وكان لدينا 24 ساعة لإعداد خطة في حال كنتُ مخطئاً، وفي الوقت ما بين فحص الحالات الأخرى، كنت أركز على واحدة من ركائز مهنة الطب ألا وهي التعمق في البحث عن الأشياء. لقد عرفت الحكمة الشائعة وهي أن الكُلب متى بدأ فلا يمكن لأي شيء أن يوقفه، لذا فقد كان محتملاً أن تكون «جيناء» قد ماتت لو كان ذلك هو تشخيص حالتها؛ وكل ما كان بوسعنا عمله هو الإقلال من معاناتها. ولكنني أعرف أيضاً أن الطب يتقدم دائماً، لذا فربما «كان هناك» شيء جديد. فالبُحث في الإنتاج الطبي المتاح على الإنترنت لم يظهر أي حلول خارقة breakthroughs، إلا أن التلُكُّ ما بين

(١) التهوية الآلية mechanical ventilation : جهاز بساند المريض على التنفس عندما يفشل في التنفس بذاته

(٢) استجاباتها الانعكاسية

online (٣)

تخريب الجسم

بمجرد دخول الفيروس إلى القشرة فإنه ينتشر سريعاً إلى الدماغ الشديد الترابط مبدئياً ميلاً إلى المخيخ (الذي ينسق حركات الجسم) والخصين (المتعلق بالذاكرة القصيرة الأمد) والجهاز الحوفي (الذي ينظم الانفعالات) وتصبح الحيوانات المخمجة سريعة التهيج وقلقة وعدوانية، وقد تقوم بتشويه ذاتها. ولكي تكتمل دورة حياته، فإن فيروس الكُلب يجب أن يشق طريقه إلى الغدد اللعابية والدماغية، ومن ثم يتابع نحو ضحاياها التاليين بهاجر الميكروب من الدماغ عبر أي عصب محيطي بما في ذلك الأعصاب المستقلة التي تربط الدماغ بالأعضاء الحيوية والغدد اللعابية والدماغية. ويحدث الموت نتيجة لتوقف القلب أو السكتة الدماغية أو القصور التنفسي.



وتلتهب الدماغ. ولأن تصوير دماغ «جيناء» كان طبيعياً [لم يُبد أي سمة لالتهاب أو سكتة دماغية stroke]، خُش أطباؤها أنها تعاني ذلك النوع من التهاب الدماغ نتيجة لما بعد الخمج أو نتيجة المناعة الذاتية. وبداً أنها قد تتطور نحو السبات وتحتاج إلى التهوية الآلية^(١)، لذا حُوِّلت إلى مستشفىنا.

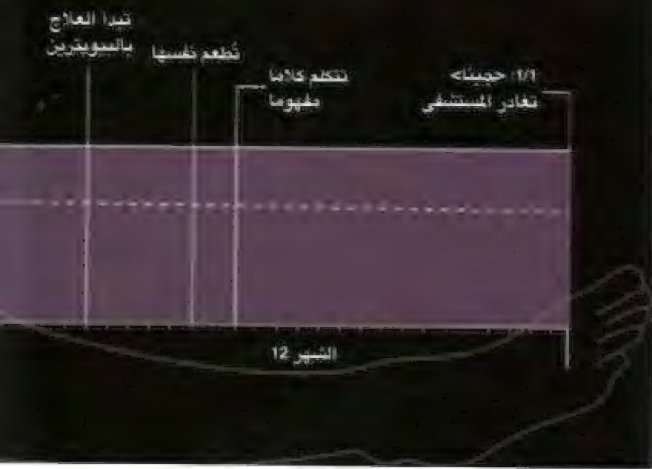
لقد أوشكتُ مع زملائي أن نحقق في تشخيص الكُلب، لولا أننا تلقينا بعض المساعدة. فقد عاد طبيب «جيناء» المحلي H دوناو من عطلة نهاية الأسبوع، وقام بفعل ما يتعلمه طلبة الطب باعتباره أحد أساسيات الطب. ألا وهو تكرار أخذ التاريخ الطبي لما حدث لمريضته، وعلم بأمر الخفاش وكان أخذ هذا التاريخ الطبي حاسماً لنجاحنا، فقد اقترحت على الفريق الذي كان على وشك نقل «جيناء» إلى مستشفىنا استخدام معدات وقائية للأحتياط. ومع أن الباحثين ليس لديهم أي دليل على أن الكُلب يمكن أن ينتقل من إنسان إلى آخر، فإن دموع ولعاب الحيوانات المصابة بالكُلب تكون مملوءة بالفيروس. وتلوث الجروح أو الأغشية

العصبية غير معروفة، كما أن الباحثين لا يفهمون تماماً كيف يقتل الكُلب مريضاً. فقد يحدث الموت بطرق عدة: الصدمة أو توقف القلب أو الفشل التنفسي. وعلى ما يبدو فإن فيروس الكُلب قد يدفع الدماغ إلى تخريب أعضائه الحيوية، وهذه الملاحظة هي التي ألهمتنا علاج الفتاة «جيناء».

لقد تطور عند «جيناء» [الطالبة الموهوبة والتجمة في فريق مدرستها الثانوية للكرة الطائرة] مرضٌ شبيه بالأنفلونزا في الشهر 2004/10، بعد شهر من تعرضها لتلك العضة. وبعد ذلك عانت فقد الإحساس في يدها اليسرى وضعفاً في ساقها اليسرى وازدواج الرؤية أدخلت المستشفى المحلي في عطلة نهاية الأسبوع، ثم صارت نائمة lethargic وحركتها غير متناسقة، وهذه الأعراض نمطية لالتهاب الدماغ (وهو أمر شائع في الممارسة الطبية. ويحدث لدى عدة آلاف من المرضى سنوياً في الولايات المتحدة)، الذي تسببه أنواع مختلفة من الفيروسات والبكتيريا، ولكنه قد يُستثار بواسطة استجابة مناعية تسلك مسلكاً خفياً

المعالجة التي أنقذت «جيناً»

في يوم 2004/10/19، بعد يوم من وصول «جينا كيسي» إلى مستشفى الأطفال في ميلووكي، أكد الأطباء أنها مصابة بالكلب واستخدموا الكيتامين واليدازولام لإبقائها في حالة سبات وعلى مدى الأسابيع الستة



(الهذيانية)، (والذين يستخدمون العقار بصورة غير مشروعة للاستمتاع بسمون الكيتامين. K المفضل) والمثير للاهتمام أن الآثار الجانبية للكيتامين تقدم، على ما يبدو، ميزة أخرى محتملة لمرضى الكَلْب: فالكيتامين يعمل واقيا عصبيا عن طريق إحصار بروتينات غشائية تسمى **مستقبلات كلوتامات NMDA glutamate receptors**، وهذه بإمكانها قتل العصبونات بعد أن تصير فائقة النشاط عقب سكتة دماغية أو أي نوع آخر من إصابة الدماغ ونصّروا دهشتي عندما قرأت عن دواء قد يسهم في تثبيط الدماغ الذي به خلل، في حين ينشط، في الوقت ذاته، إزالة فيروس الكَلْب ويحمي الدماغ من المزيد من الأذى.

قرار یائس

وبصفتي استشاريا للأمراض الخمجية (المعدية)، لم تكن عندي المهارة لوضع «جينا» في حالة سبات بطريقة آمنة لذا فقد طبقتُ رَكِيزَةً أخرى من ركائز الطب: اطلبُ المساعدة. وقد كنتُ جديداً في مستشفى الأطفال، لذا فقد طلبتُ إلى M. تشوسيد (وهو استشاري للأمراض الخمجية أعلى مرتبة) أن يساعدي على إيجاد اختصاصيين في حماية الدماغ ولحسَنَ الحظ كان جميع الخبراء موجودين في ذلك اليوم. فقد كانت «ك» تيفيز و «ن» غُنيَمَ [ولهما خبرة في تقليل أذى الدماغ عقب الرض وعقب جراحات القلب المفتوح] مناوبتين في وحدة العناية المشددة (الركزة) عندما وصلت «جينا» وقد تضمن فريقنا أيضاً «إميلي ليفوند» [وهي طبيبة أعصاب متخصصة في خمج الثيروسات] و«آي شواب» [الخبير في الصرع والذي كان بمقدوره تزويدنا برصد مستمر لموجات الدماغ للتحكم في السبات]. و«جوفمان» اختصاصي التخدير للفريق الذي تعرّف خطتنا لإحداث السبات باعتبارها ممارسة نظمية لحالات مرضية أخرى.

THE TREATMENT THAT SAVED JEANNA (A)
A Desperate Decision (A)

كشف طبي ما ونشره قد يطول إلى 5 أعوام لقد اتصلت بـ«كاثلين هانلون» [وهي خبيرة في الوباء في المركز CDC] وتلقيت منها معلومتين مثيرتين: الأولى، أن تاريخ مرض «جيناء» وفحصها يبدو أنهما لو كانت حالة «كَبْ» خاصة «بهانلون»، والأخرى، أنه لم يطرح أي شيء واعد في اللقاءات العلمية أو التجارب السريرية الجارية حديثاً

ولأن الوقت كان محدودا، فقد قررتُ اتباع خطة بحث مختلفة، فتقريبا لم ينبُج أحدٌ من الكُلب، لذا تجنبتُ ما تُشعر عن كيفية معالجة المرض في الإنسان والأبحاث بخصوص العلاجات تبدأ عادة بتأثير الأدوية في الفيروسات المزروعة في أنابيب الاختبار، ومع أنها خطوة أولى ضرورية، فإن الأدوية التي تبدو واعدة في الدراسات الأولية عادة ما تكون سامة أو لا يمكن إعطاؤها بكميات كافية في موضع الخمج، والشئ الذي شدد انتباهي عندما نظرت فيما تبقى من مقالات هو ذلك اللغز الذي حير خبراء الكُلب لأكثر من 30 عاما: فمرض الكُلب يموتون تقريبا دون أي علة ظاهرة في دماغهم. وبالقدر نفسه من الأهمية عندما يموت مرضى الكُلب بعد أسابيع من الرعاية المكثفة فإن الفيروس لا يمكن العثور عليه في أجسامهم، فالجهاز المناعي يتخلص من الفيروس مع الوقت، إلا أن الإزالة تحدث ببطء شديد بحيث لا تنقذ حياة المرضى.

ومن هاتين الحقيقتين ارتجلنا استراتيجيتنا وخطتنا، فقُيِّرَ الفيروس النكَّابُ يستطيع (على ما يبدو) أن يُكرِّه الدماغ على قتل الجسد دون أن يؤذي نسيج الدماغ ذاته مباشرة. فإذا تمكنا من تعطيل الخل في وظيفة الدماغ بالاستخدام الحذر للادوية، بحيث نضع الفتاة «جينا» في حالة فقدان وعي طويلة، فقد نحدُّ من الدمار الحقيق بجسمها، وربما نبقياها حية مدةً طويلة كافية، بما يسمح لجهازها المناعي للحاق القيام بدوره كاملاً.

ولاختيار أي عقاقير لها مدلول واضح، فتشبت في الأدبيات الطبية عن دراسات تربط الكلب بالنواقل العصبية neurotransmitters (وهي تلك الكيماويات التي يستخدمها الدماغ لنقل الإشارة ما بين الخلايا) أو بالحماية العصبية neuroprotection (وهو ذلك العلم الذي يستخدم الأدوية أو غيرها من تدخلات لحماية الدماغ من الأذى) وقد كشف تقنيته في هذا عن بحثين مذهلين لـ<H> تسيانك</H> وزملائه [من معهد لويس باستور في باريس]. ففي أوائل التسعينات من القرن الماضي قدم <تسيانك> وزملاؤه تقريراً يفيد أن بمقدور الكيتامين (وهو مخدر) أن يثبط فيروس الكلب في العصبونات القشرية بالجرذان. وكان هذا البحث عظيماً لثلاثة أسباب. الأول، أن البحث بين أن الكيتامين يؤثر بشكل جوهري في دورة حياة الفيروس، في حين ينتسخ الفيروس مادته الجينية داخل العصبونات [انظر المظهر في الصفحة 32]. والثاني، أن الدواء يعيق فقط فيروس الكلب دون غيره من الفيروسات، وهذا يرجع أن تأثير العقار ليس نتيجة سمية عامة للحيوان؛ والآخر أن عقارا مشابها، ولكنه أكثر سمية ويسمى MK 801، يثبط أيضا الكلب في عصبونات الجرذان، لذا فإن هذه الفائدة تنطبق على الأرحم على صنف بأكمله من المركبات

لقد استخدم الجراحون، لأكثر من 25 سنة، الكيتامين لإحداث حالة فقدان الوعي أو لابقائها لدى مرضاهم. مع أنه قد تم استبدال العقار على نطاق واسع نظرا لآثاره الجانبية الهلوسية

المناعي ينتج كميات كبيرة من الأضداد المقاومة للكلب ولا سيما الأضداد المخلّطة التي تمنع الفيروس من غزو خلايا جديدة. ولكن شفاها كان بطيئا إلى أن أعطاها الأطباء البيطريين وهو مركب شبيه بحمض الفوليك.

التالية أعطوها فينوباربیتال (مُرَكَّن) وأمانتادين (عنصر مضاد للفيروسات يساعد على حماية الدماغ) وريبافيرين (دواء مضاد للفيروسات عموما). وعندما خرجت «جينا» من حالة السبات كان جهازها



جينا تجلس في السرير أكثر من 10 دقائق

استخدام معاونة



نستفيد من إضافة المزيد منها باستخدام اللقاح المحتوي على الفيروسات المقتولة، بل قد يسبب ضررا بحرف الاستجابة المناعية الطبيعية بعيدا عن الفيروسات الموجودة فعلا في دماغ «جينا» وتوجيهها نحو التحولات المثلّة بصورة مبالغ فيها في اللقاح ولأسباب مماثلة فقد اخترنا الآن نغرز جهاز «جينا» المناعي بحقنها أضدادا نوعية للكلب أو الإنترفيرونات (وهي بروتينات تزيد النشاط المناعي). واخترنا أن تُحدث السبات في «جينا» لمدة أسبوع، وأن نحلل عينات من دمها وسائلها النخاعي على امتداد تلك الفترة للتأكد من أنها تنتج أضدادا الخاصة

ومع أن القوضى العارمة تميز الرعاية النهائية للكلب (يما فيها تارجع عنيف في معدل نبضات القلب وضغط الدم)، فإننا لم نصادف أي انتكاسات رئيسية أثناء سبات جينا وبانتهاء الأسبوع بدأ جسمها بإنتاج كميات كبيرة من الأضداد المستعجلة neutralizing التي تمنع الفيروس من غزو خلايا جديدة وربما تزيل الميكروب بطرق أخرى غير معروفة. ولكن الاختبار الحقيقي سوف يأتي يوم نعيد «جينا» للوعي وكان اليوم الذي أخرجنا فيه «جينا» من السبات أسوأ يوم في حياتي: فقد كانت «جينا» مشلولة تماما وعدمية الاستجابة، ولم يكن لدينا أي فكرة عما إذا كانت حية أو ما الذي سيحدث بعد ذلك، ولكننا كنا نعلم أن مرضى الكلب قد يبدون خطأ موت الدماغ، لذا لم نفقد الأمل. وفي اليوم التالي حاولت «جينا» أن تفتح عينيها. وفي وقت لاحق تطورت لديها استجابة انعكاسية في ساقها. وبعد ستة أيام كانت تديم النظر إلى وجه أمها (مفضلة إياه على وجهي) وتفتح فمها لتساعد مرضتها على تنظيفه. وبعد 12 يوما أمكنها الجلوس في سريرها.

إن الشلل التام يتسبب في حالة حادة من زوال التكيف في الجسم، فالقوة والقدرة على الاحتمال والتكيف تكون كلها مفقودة، إضافة إلى قابلية البلع والكلام لقد استحوذ شفاء «جينا» على قدر هائل من العمل الشاق. ففي الشهرين الأولين تعرّضت لتأخير مربك:

لقد أوصى أعضاء الفريق بعلاجات أخرى لتخفيف الآثار الجانبية للكيتامين ومنح المزيد من الحماية العصبية وبلوغ السبات الذي هو هدفنا العلاجي. وكذلك أوصوا بالأمانتادين، وهو مضاد للفيروسات وقد يساعد أيضا على إعاقة المستقبلات العصبونية NMDA، فيرتبط بها في موضع مختلف عن ذلك الذي يحصره الكيتامين. وكذلك الميدازولام (وهو مهدئ من مجموعة البنزوديازيبين) والفينوباربیتال، اللذان قد يساعدان أيضا على إيقاف نشاط دماغ «جينا». فيما بعد اقترح «C» روبريخت (وهو خبير في الكلب بالمراكز CDC) إعطاء مضاد عام للفيروسات وهو الريبافيرين، مع أنه قد سبق تجربته على مرضى الكلب دون أي نجاح، ولكننا دائما نصغي للأشخاص البارعين

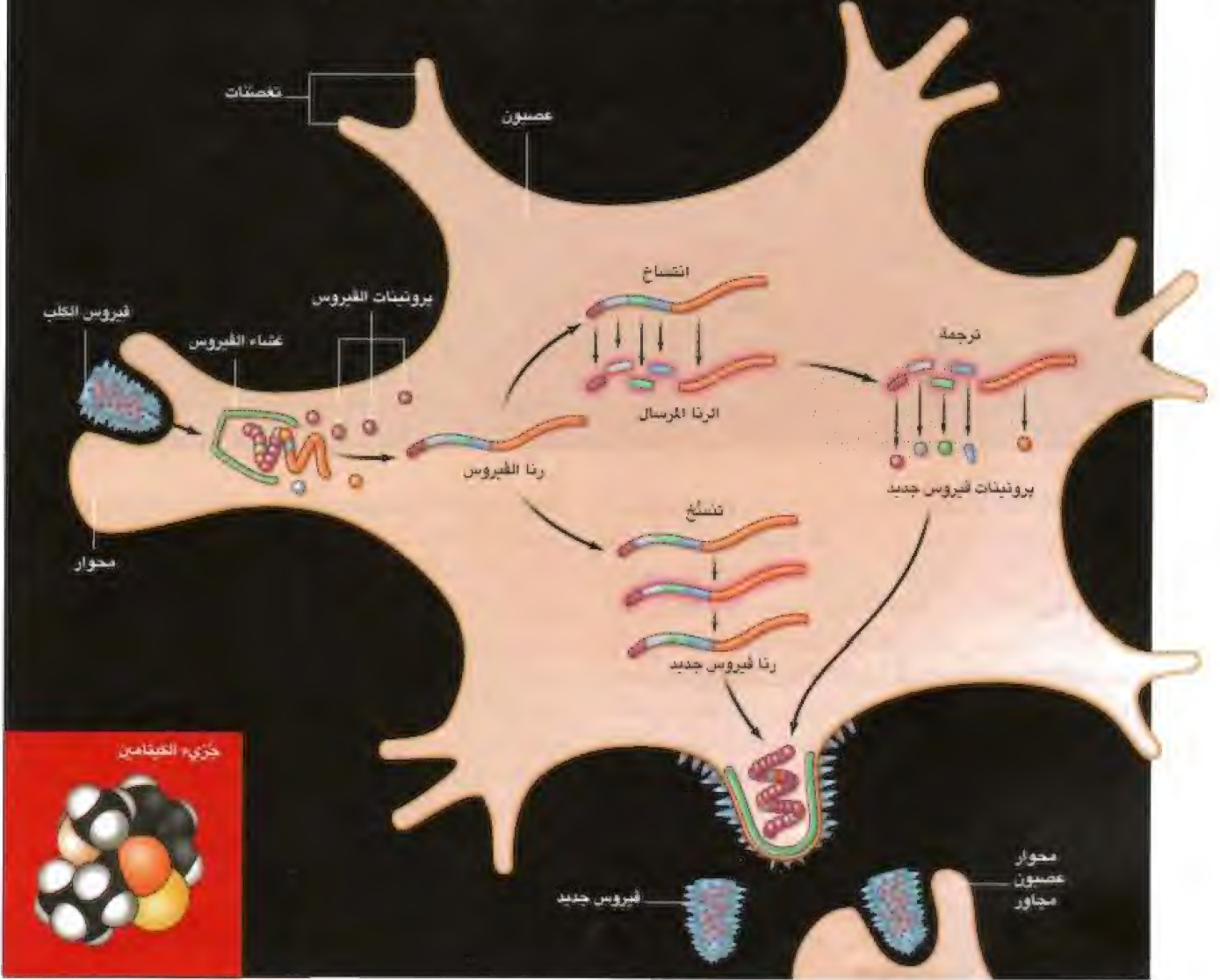
إن وجود وفرة من الاستشاريين في كل تخصص أتاح لنا نقد الفرضية، والتقرير فيما إذا كان من الأمان أن نتابع فعندما تُجرّب أشياء جديدة في الطب أو البيولوجيا (علم الحياة) فإنها عادة ما تقتل وغالبا ما تسبب ضررا. لذا يُفترض أن تبدأ العلاجات من أنبوب الاختبار. إلى الدراسة على الحيوانات، ثم إلى التجارب السريرية. لقد بدت فرضيتي بسيطة جدا، وقد تسبب نتيجة طبية أسوأ حتى من الموت قاربية من كل خمسة ناجين محصين من الكلب انتهوا بإعاقات خطيرة. لقد اجتمعنا مدة ساعة بعد أن أكد «روبريخت» أن «جينا» مصابة بالكلب. وقد أبلغنا والديها بالتشخيص وشرحنا لهما الخيارات التقليدية. ثم اقترحنا عليهما علاجنا. ولأن موت «جينا» كان محتملا فقد طلب والد «جينا» إلينا أن نجرب شيئا جديدا، بحيث يكون هناك المزيد من المعرفة لصالح الطفل التالي المصاب بالكلب.

وقد قدرنا أن الجهاز المناعي لـ«جينا» قد يحتاج ما بين 5 و 7 أيام لإنتاج الأضداد التي تستهدف فيروس الكلب، ومن خبرتنا من حالات الكلب السابقة لدى البشر، علمنا أن الاستجابة المناعية العصبية ستكون عنيفة بمجرد أن نُستثار. وأخذنا في الاعتبار أن دماغ «جينا» مملوء فعلا بفيروس الكلب. لذا، فمن غير المحتمل أن

كبح فيروس مميت

نسخاً من نفسه، تتجمع مع البروتينات لتكوّن ميكروبات جديدة تنطلق من تغطّيات العصبون لتهاجم العصبون المجاور. وتبين الدراسات أن الكيتامين (المرج)، وهو مركب استخدم طويلاً كمخدر، يقبّط مرحلة الانتساخ في دورة حياة الفيروس.

بعد أن يخترق فيروس الكلب محوار عصبون فإنه ينزع غشاءه ويحرر بروتيناته والرنا RNA، التي ترتحل إلى جسم الخلية. ويولد رنا الفيروس الرنا المرسل (الانتساخ) الذي يستخدم بدوره البات الخلية لإنتاج بروتينات الفيروس الخمسة (الترجمة). ثم يكون رنا الفيروس



كَيِّم الكيتامين

أعراض الكلب عدا التأثيرات الأخيرة في الأعصاب المحيطية. لقد كان ذلك انفراجاً مذهلاً، لأن البيوبترين متاح كإضافة تؤخذ بالفم. وبعد حصولها على البيوبترين استطاعت «جينا» الكلام والبلع مرة أخرى. وقد أتاح التحسن السريع لها أن تغادر المستشفى يوم 2005/1/1، قبل ثلاثة أشهر من الموعد الذي كان متوقعاً لها. وأثبتنا من حينها أن عوز البيوبترين قد ظهر في مريض الكلب الوحيد الآخر الذي حُفظت منه عينات بطريقة مناسبة. ونحن نختبر احتمال وجود مستويات منخفضة من البيوبترين في الأنواع الأخرى من الحيوانات الأخرى المضموجة بالكلب. فإذا كان الأمر كذلك فإن العوز قد يساعد على تفسير الكيفية التي يخرب بها الفيروس الجسم. أما لماذا يخفّض الكلب

CURBING A DEADLY VIRUS

فمثلاً أحرزت تقدماً سريعاً في المشي وأداء التمرينات ولكنها لم تكن قادرة على الكلام أو البلع. وتبقت لديها مشكلات أخرى، مثل تراكم حامض اللين في جسمها والذي جعلني أفكر في الاضطرابات الاستقلابية (الأيضية). وفي استشارة مع «w» ربيد [وهو المختص في علم الجينات بمستشفانا] شخّصنا الحالة على أنها عوز مكتسب للبيوبترين bioppterin. ويشبه البيوبترين كيمائياً حمض الفوليك وهو الفيتامين B الأساسي لنمو الخلية، والمركب موجود بكميات محدودة في الدماغ، حيث هي حاسمة لإنتاج النواقل العصبية، مثل الدوبامين والابينفرين والفورابينفرين والسيروتونين والميلاتونين. ويتحكّم البيوبترين في كيفية صيانة أحد إنزيمات الدماغ (سينثيتاز أكسيد النيتريك العصبوني) لتوتر الأوعية الدموية المغذية للدماغ. وفي الحقيقة أدركنا أن الكميات الضئيلة من البيوبترين بإمكانها أن تقسر معظم

يحملة الحفاش يبين أنه مختلف عن تلك السلالات الموجودة في الكلاب وعنده نزوع أكبر للتضاعف في الجلد عوضاً عن العضلات، ولكن فيروس الحفاش ليس أقل قتلاً من نسخة الكلبيات canine version وربما تكون أفضل طريقة للرد على تلك التهم هي تطبيق علاجاتنا على الحيوانات المصابة بالكلب لتعيين الأجزاء الحاسمة في هذا البروتوكول (أحداث السبات أو الأنشطة المضادة للفيروسات أو تعطيل المستقبلات NMDA) من أجل مكافحة الكلب وقد طلبنا إلى ست كليات للطب البيطري أن تسمح بهذه الدراسات، ولكن المسؤولين في هذه الكليات كانوا يخشون معالجة حيوانات مصابة بالكلب في وحدات العناية المركزة لديهم. إن قلة مواصلة الأبحاث هي خسارة عالية، لأنه لا يمكننا معرفة فيما إذا كانت استراتيجيتنا فاعلة حتى يجربها الآخرون. فإذا ما أمكن تكرار نجاحنا فسوف يتمكن الباحثون من تعيين أي الأدوية هو فعال وبأي جرعة، وفيما إذا كان بإمكان البيوبيترين تقليص فترة النقاة بشكل ذي دلالة إضافة إلى ذلك. على الأطباء إيجاد طرق لتخفيض تكلفة العلاج وإعادة التأهيل (والتي بلغت 800 000 دولار على الأقل في حالة «جيناً») لجعلها ممارسة مقبولة في الدول النامية، حيث لا يزال الكلب أكثر شيوعاً. وسيكون أمراً غير معقول أن تتحول نسبة الوفيات من الكلب من 100% إلى 100%، ولكن لدينا الآن على الأقل الفرصة لتحسين هذه الاحتمالات ■

(*) A Curable Controversy

(1) سابقا المضادات الحيوية probiotics، أو سابقا المضادات

(2) شبكة ميراكل (المعجزة) للأطفال The Children's Miracle Network هي الاتحاد الرئيسي لمستشفيات الأطفال الرئيسي، وهي مؤسسة غير ربحية تسعى لتأمين الدعم المالي لمئة وسبعين مستشفى للأطفال في أمريكا الشمالية

المؤلف

Rodney E. Willoughby, Jr.

استاذ مشارك في طب الأطفال بكلية الطب في ويسكونسن واستشاري الأمراض الخمجية (العدية) بمستشفى الأطفال في ويسكونسن وهو خريج جامعة برينستون وكلية طب جون هوبكنز مع تدريب ما بعد الدكتوراه في طب الأطفال وأمراض الأطفال الحممية والكبدية، الحيوية للسكريات والاستقصاءات السريرية وتتضمن اهتماماته البحثية الكلب والشلل الدماغي وتثوير المضادات الحيوية (الصادات) وسابقا المضادات الحيوية "لإزالة من الدم المقاوم للمضادات الحيوية في المستشفيات وتلقى في عام 2006 جائزة الإنجاز من شبكة ميراكل للأطفال

مراجع للاستزادة

Inhibition of Rabies Virus Transcription in Rat Cortical Neurons with the Dissociative Anesthetic Ketamine. B. P. Lockhart, N. Tordo and H. Tsiang in *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, Vol. 36, No. 8, pages 1750-1755; August 1992.

Prophylaxis against Rabies. C. E. Rupprecht and R. V. Gibbons in *New England Journal of Medicine*, Vol. 351, No. 25, pages 2626-2635, December 16, 2004.

Survival after Treatment of Rabies with Induction of Coma. R. E. Willoughby, Jr., K. S. Tieves, G. M. Hoffman, N. S. Ghanagay, C. M. Amlie-Lefond, M. J. Schwabe et al. in *New England Journal of Medicine*, Vol. 352, No. 24, pages 2508-2514, June 16, 2005

More information about rabies and the Milwaukee protocol is available at www.mcw.edu/rabies

Scientific American, April 2007



شفاء استثنائي: جيناً كيسى (تظهر مع المؤلف) تخرج في المدرسة الثانوية هذا العام وتأمل أن تصبح طبيبة بيطرية. والإنشاء التي تُذكر بصراعها مع الكلب هي خير في إصبعها المعنوسة وتغير في قوة ذراعها اليسرى وخطوة أوسع عندما تجري.

البيوبيترين (ومعظم اخماج الدماغ تزيد) فهو أمر غير واضح وقد أعدنا العدة لاختبار ومعالجة عوز البيوبيترين في مرضى الكلب المستقبلين الذين يتلقون بروتوكول ميلووكي

خلاف يمكن البحث فيه^(*)

في الذكرى السنوية الأولى لتشخيص الكلب لديها، حضرت «جيناً» لقاء دولياً للباحثين العلميين عن الكلب (عُقد في كندا) كضيفة شرف في حفل العشاء الاحتفالي، حيث ألفت كلمة وقد عادت للالتحاق بزميلاتها الأصليين في السنة الأولى بمدرستها الثانوية وحصلت على علامات ممتازة، وكذلك حصلت على تصريح قيادة سيارة مؤقت. وكانت الأشياء التي تخلقت من صراعها مع الكلب هي رقعة صغيرة من الخدر في إصبعها التي عضها الحفاش وتغير في ثوب ذراعها اليسرى وخطوة أوسع عندما تجري وقد تخرجت في مدرستها هذا العام، وتأمل أن تصبح بيطرية

ولكن هل بإمكان بروتوكول ميلووكي إنقاذ أي أرواح أخرى؟ لقد استخدمت هذه المعالجة ست مرات خلال العامين الماضيين من دون أي نجاح يذكر في ألمانيا وإيطاليا والهند وتايلاند والولايات المتحدة. ولأسوء، الحظ فإن العديد من المحاولات خالفت افتراضات جوهرية في نظريتنا أو أنها لم تستخدم معظم الأدوية في نظام «جيناً». إن المجتمع الطبي كان ممانعاً لتكرار علاجنا. وكان هناك بعض الخبراء الذين عارضونا علانية. إن هذه المقاومة مفهومة، لأن بقاء «جيناً» على قيد الحياة كان يعارض الدراسات المختبرية التي تبين أن فيروس الكلب يقتل خلايا الدماغ، ولكن هذه الدراسات قد تكون مضللة لأن سلالات الكلب في المختبر قد تكون أكثر قابلية لأحداث موت الخلايا من الفيروسات التي تجول في الطبيعة.

وقد جادل خبراء آخرون بأن «جيناً» بقيت حية لأنها خُجعت بسلالة ضعيفة على نحو غير عادي من الكلب. وهذا النوع من الجدل من الصعب الرد عليه، لأننا لم نعمل عينات من الفيروس من جسم «جيناً» (وقد حصلت المراكز CDC على أضداد نوعية للكلب من «جيناً» وليس على الفيروس نفسه، لأنه من الصعب عزله). وتحليل فيروس الكلب الذي

تدبيات أمريكا الجنوبية المفقودة

توضح الاكتشافات الأحفورية المدهشة في جبال الأنديز التشيلية وجود مجموعة غير متوقعة من تدبيات فريدة كانت يوما ما تتجول في أمريكا الجنوبية. وقد قلبت هذه الاكتشافات معرفة كانت راسخة حول التاريخ الجيولوجي لهذه القارة.

J. L. ملان - R. A. وايس - <R> تشارنير

المدهش أن عمر الأحافير التشيلية يراوح بين 40 مليون و 10 ملايين سنة - وهو أحدث كثيرا مما توقعناه. وبالفعل، فإن الكثير من العينات يمثل البقايا الشديدة لأجزاء فقط من تلك الفترة الزمنية الموجودة في كل مكان في أمريكا الجنوبية وقد أضاعت بعض هذه الأحافير الفريدة فترة مظلمة سابقا من تاريخ سلاسل التدبيات الأصلية في هذه القارة؛ في حين ساعدت أحافير أخرى على حل الجدل المديد حول منشأ الجماعات المهاجرة الأساسية. وقد صحح هذان النوعان من الأحافير فهمنا للزمن الذي ظهرت فيه بعض النظم البيئية والزمن الذي تشكلت فيه الجبال نفسها - في هذا الجزء من العالم.

اكتشاف مضن

يستند معظم ما يعرفه العلماء عن التدبيات القديمة في أمريكا الجنوبية إلى إشارات اكتشفت في الأطراف الجنوبية البعيدة من القارة وبخاصة في منطقة باتاغونيا Patagonia تحوي هذه المناطق

وعمليات التحات التي تيعتها قد عرّت بقايا هياكلها الأحفورية فأصبحت واضحة في ضوء النهار في مرتفعات جبال الأنديز بأواسط تشيلي. وقد اكتشف فريقنا أول هذه العظام في عام 1988 بينما كنا نقتش عن بقايا الدينوصورات في أحد الأودية الرافدة لنهر تنكويريريك Tinguiririca River قرب الحدود مع الأرجنتين. وثبت أن الاكتشاف الأولي لعظام التدبيات كان مثمرا إلى أبعد الحدود، فقد عدنا إلى المنطقة من حينها كل عام تقريبا. ومنذ ذلك الحين وحتى الآن اكتشفنا أكثر من 1500 أحفورة من التدبيات القديمة من عشرين المواقع في أواسط جبال الأنديز التشيلية.

لقد أدى التحليل المختبري المضني لمجموعة عيناتنا المتنامية إلى إظهار أسرار رئيسية من تاريخ التدبيات القديمة لأمريكا الجنوبية والشيء

على أطراف سهل عشبي منبسط يرعى بهدوء وفي غفلة عن قدرها المهدد، زوج من الحيوانات الحافرية hoofed grazers التي تشبه الخيول وأحد الحيوانات الحافرية القديمة التي تشبه الطيلاء والكسلانيات الأرضية ground sloth ويشاركها الغفلة في الجوار حيوان الشينشيللا chinchilla وحيوان كيسى marsupial صغير كالجرذ يقضم البذور وفجأة ينفجر في الأفق بصورة كارثية بركان مغطى بالثلوج، مرسلا فيصا من الرماء الطيني نحو منحدراته الشديدة. وبعد ذلك يتدفق هذا الطين المضطرب بسرعة عبر الأراضي المنبسطة دافنا في طريقه الحيوانات غير المنتبهة له

ويقدر ما كان الخراب الناتج من هذا التدفق البركاني مدمرا للكائنات التي دفنها، فإنه قد أصبح هدية لعلم الأحافير (الباليونتولوجيا). وبعد عشرات ملايين السنين من الموت غير المتوقع لهذه التدبيات، فإن القوى البانية للجبال

نظرة إجمالية/ فيض من الأحافير

- إن عينات أحافير التدبيات، التي تربو على 1500 عينة، المكتشفة في أواسط جبال الأنديز التشيلية تتضمن مجموعة استثنائية من الأنواع الجديدة، إضافة إلى أقدم بقايا القوارض المعروفة في قارة أمريكا الجنوبية.
- تُجسّر هذه الأحافير، التي يراوح عمرها بين 40 مليون و 10 ملايين سنة، الثغرات في التاريخ المعروف لتدبيات أمريكا الجنوبية الاستثنائية.
- تؤثّق بعض هذه الأحافير وجود مراعى يعود عمرها إلى 32 مليون سنة، وهي تسبق أمثال هذه الانطلاقة البيئية في أي مكان آخر في العالم بنحو 15 مليون سنة.

South America's Missing Mammals (1)
Overview: Fossils Galore (2)
Tantalizing Discovery (3)

١. الكسلانيات تدبّات تعيش على الأشجار وتنتهي إلى رتبة الدرد

٢. حيوان من القوارض مجسم أرنب وله نيب طويل يعيش في أمريكا الجنوبية

٣. الجزء الجنوبي من الأرجنتين (التحرير)



في هذه اللوحة الفنية تبدو الثدييات عريضة فطنت يوما أمريكا الجنوبية، وهي تُرعى غافلة عن فيض عنيف من الرماد البركاني الطيني سباني فجأة من بركان مجاور ويؤدي إلى هلاكها.

وراقبنا الأرض جيدا، فأننا قد نجد أحفورة من الثدييات الصغيرة التي عاصرت الديبوصورات والتي لم تكن أكبر من الزبابة shrew (ثديي من اكالات الحشرات) وفي اليوم الأخير من رحلة استطلاع دامت أسبوعا عام 1988، انقسم فريقنا المكون من أربعة باحثين لاستكشاف المنحدرات الشديدة المحيطة بجانب نهر «تكويريريك» ومباشرة تقريبا، وصل الاثنان اللذان يعملان شمال النهر إلى طبقة

١. لابة Lava جمعها لابات

٢. حطب الحياة المتوسطة

(التحرير)

أقدام الديبوصورات فيه كان عمر الصخور هو العمر الصحيح نفسه - فقد افترض الجيولوجيون حينذاك أن عمق معظم الصخور على امتداد سلسلة جبال الأنديز التشيلية يعود على الأقل إلى ما قبل 65 مليون إلى 100 مليون سنة. أي إلى الجزء الأخير (الأحدث) من حقبة الميزوزوي Mesozoic. وهو الزمن الذي وصلت فيه الديبوصورات إلى أوج تطورها لقد علمنا أن أيا من الرواسب التي تحوي آثار أقدام لا بد وأن تحوي أيضا بقايا عظمية من الحيوانات التي تركت آثار أقدامها فإذا كنا محظوظين جدا

تكشفات كثيرة لصخور مثالية حاملة للأحافير كالفشار والحجر الرملي وتشكلات أخرى متصلة ترسبت في بيئة الأنهار وسهولها الفيضية وقبل زيارتنا الأولى إلى تشيلي، لم يغتث الباحثون بصورة منهجية عن أحافير الحيوانات البرية في المناطق الجبلية لذلك البلد، لأن معظم صخورها صخور بركانية (إذ من المفترض أن تكون اللابات والمواد المدفوعة من البراكين حارة جدا ومخرقة لا تتيج حفظ البقايا العضوية)

ومع ذلك قررنا أن نجرب حظنا في أن وادي «تكويريريك» يمكن أن يحوي أحافير خاصة عندما علمنا من تقرير عن وجود آثار

مجموع حيواني جزيري^(١)

يعد اكتشاف أي نوع من الأحافير أخباراً عظيمة لنا فإن كانت من الثدييات - وبصورة غير متوقعة من الثدييات الحديثة - كان ذلك أكثر من كاف لحفزنا إلى أن نركز مؤسماً الميداني التالي على تلك البقعة بعينها لقد عدنا ثانية إلى وادي تنكويريركا في الصيف الجنوبي من عام 1989، بعد أن ذابت ثلوج الجبال العالية بصورة تتيح للسلطات المحلية إعادة بناء طريق الوصول الضيقة التي تتهدم كل فصل ربيع تقريباً. وفي هذه الرحلة وصلنا إلى موقع الأحافير صباح يوم مشمس صافٍ من أيام الشهر الأول من العام، مع طاقم مؤلف من سبعة علماء وتجهيزات حافلة كاملة. وبسرعة أنزلنا حمولة الحيوانات ونصبنا الخيام بالقرب من نهر صغير وبدأنا بالتفتيش عن الأحافير.

ومما أبهجتنا ظهور كسارات عظمية رائعة وأسنان، وكان ذلك بعد دقائق من بداية تمشيط منحدر التل. فقد برزت عند طرفي عقيدة من الصخر بحجم حبة البطاطا، جمجمة أكيدة لحيوان ثديي، بدليل وجود عظمتي فكها السفلي المفردتين، من بين صفات أخرى. (تتألف الفكوك السفلي في الزواحف من عظام منفصلة كثيرة). وفيما بعد، سنصف ذلك الكائن رسمياً بأنه نوع جديد من الحافريات القديمة notoungulate، وهي مجموعة غير متجانسة من الحافريات العاشبة يتراوح حجمها بين الأرنب وقرس النهر، وقد انقرضت قبل أقل من مليون سنة. ويحتمل أن هذا النوع الجديد يشبه قليلاً الظلي antelope. فقد كشفت الأسنان التي وجدناها في السنة السابقة أنها تعود إلى أحد الحافريات القديمة الشبيهة بوحيد القرن. ومجمل القول، إنه في أثناء الفصول الثلاثة الأولى من العمل الحقل في تنكويريركا، أحضرنا أكثر من 300 عينة تتضمن جرابيات (كيسيات) marsupials وواوئل كسلانيات early sloth

(١) Finding Fossils (١١)
(٢) Island Menagerie (٢٢)
(٣) نشفي إلى حقبة الحياة المتوسطة
(٤) حقبة الحياة الحديثة (التحرير)



اكتشاف الأحافير^(٢)

أعطت أكثر من دزينة من المواقع في جبال أنديز وسط تشيلي، ومن ضمنها المواقع المشار إليها في اليسار (بنقاط)، مئات من أحافير الثدييات منذ أن اكتشف المؤلفون في البداية تراكمات لعظامها في وادي تنكويريركا Tinguirirca، في عام 1988. وهذه البقايا الثديية القديمة التي يراوح عمرها ما بين 40 مليون و 10 ملايين سنة هي الأولى التي وجدت في هذه المنطقة من أمريكا الجنوبية. وإن معظم أحافير القارة من الثدييات يأتي من منطقة أبعد نحو الجنوب في باتاغونيا Patagonia. وقد حفزت البقايا في رواسب بركانية من تشكيلة أباتيكو Abanico (اللون البني) التي تتكشف على مساحة آلاف الكيلومترات المربعة من أراضٍ شاهقة شديدة الانحدار.

يجب أن تكون دينوصورات أو وحوش ميموزوية^(٣) غريبة أخرى. ولكن ثمة قصة مختلفة يكشف عنها وجود الأسنان المتميزة المعقدة مع طولحن (أضراس) ذات تيجان مرتفعة مستوية القمة ومتعددة الوجوه التي تمتاز بها بعض الثدييات. لقد كانت هذه الثدييات بكل وضوح كبيرة ومتطورة إلى حد بعيد لا يمكن معه أن تكون قد عاشت قبل 50 مليون سنة. ويبدو أن الجيولوجيين كانوا بعيدين كل البعد في تقديرهم لعمر هذه الصخور. وبالفعل، فقد أثبتت التحاليل اللاحقة أن الأحافير الجديدة قد جاءت من حقبة السينوزوي^(٤) Cenozoic، وهي الفترة الزمنية الراهنة من تاريخ الأرض التي بدأت عندما انقرضت الدينوصورات اللاطييرية nonavian قبل 65 مليون سنة. (تُعرف الطيور الحالية بأنها تيروبودات theropods، وبذلك فإنها تمثل مجموعة من الدينوصورات التي لاتزال على قيد الحياة)

الرواسب التي تحمل آثار الدينوصورات، وتابعا بعد ذلك المسير نحو أعالي الوادي بحثاً عن رواسب أخرى يحتمل أن تحوي أحافير. ولكن ما خيب آمالهم أن الأحافير الوحيدة التي وجدوها كانت أحافير الأسماك والأسفونيات ومخلوقات بحرية أخرى - ولكنهم لم يجدوا زواحف أو ثدييات. وفي الوقت نفسه عاش أعضاء الفريق الذين يعملون جنوب النهر يوماً عصيباً مشابهاً ولكن ارتفعت معنوياتهم عند عصر ذلك اليوم عندما لحوا بضعة أجزاء من العظام والأسنان من بقايا الأحافير تبرز من بقعة كبيرة من رواسب بركانية بنية اللون مائلة إلى الاحمرار تقع على ارتفاع 1000م فوق قاع الوادي. وقد أوضح الفحص أن الأحافير كانت لحيوانات فقارية برية بحجم الحصان الصغير تقريباً

في البداية، حاولنا أن نقحم هذه الأجزاء الأحفورية في الفكرة السائدة عن عمر الصخور - حيوانات بهذا الحجم

جماعة ممثلين^(١)

في أثناء خمسة فصول من استكشاف وادي «تنگويريريكيا» بأواسط تشيلي، اكتشف فريقنا أحافير 25 نوعا تقريبا من الثدييات. عاشت هذه الحيوانات القديمة قبل نحو 32 مليون سنة، ومعظمها جديد على العلم. وتعرف كمجموعة باسم حيوانات التنگويريريكيا، وتضم أكثر من 300 عينة فريدة تمثل قوارض أمريكا الجنوبية الأقدم بما في ذلك شكل شبيه بحيوان الشينشिला لم يُسم بعد (1)، وتعد أحافير نوع جديد من حيوان شبيه بالحصان إيومورفيوس (2) *Eomorphippus* وسانتياكوروثيا تشيليانسيس (3) *Santiagorothia chilensis* الممثل الأقدم لمجموعتين صغيرتين من الحافريات القديمة، أكلات عشب حافرية أصبحت منقرضة في العشرين ألف سنة الماضية. ويتضمن المجموع الحيواني أيضا أكبر تنوع في أمريكا الجنوبية من الحافريات القديمة المعروفة باسم أركيوهيريراكوئيدس *archaeohyracoids*، من بينها أركيوتيبوتيريوم تينكويريريكائينس (4) *Archaeotypotherium tinguiricaense*. تنفرد منطقة تنكويريريكيا بوجود بسيدوكليبتودون تشيلنسيس (5) *Pseudoglyptodon chilensis* النسبب الأقرب المعروف للكسلانيات والحيوان الشبيه بالزبابة: كلوهنيا شاريري (6) *Klohnia charrieri* الجرابي الوحيد من نوعه.



القوارض التي ركبت البحار^(٢)

ومن بين اكتشافاتنا الأكثر أهمية في وادي تنكويريريكيا، أحفورة أقدم قارض عُرف في أمريكا الجنوبية. هذه اللقبة تعطي دليلا قويا للجدل الدائر حول منشأ خنازير الماء، والشينشيليات الحالية وهذه المخلوقات المعروفة برتبة قوارض «كافيمورفا» *Caviomorpha*، وأقرباؤها المباشرين. تُولف سلالة قوارض أمريكا الجنوبية الأكثر قدما (وهي متميزة من سلالة القوارض الأحدث المكونة من الجرذان والفئران والمخلوقات ذات

Cast of Characters (١٠)

Seafaring Rodents (١١)

(١٠) رتبة في الثدييات تتضمن بواكر الساسيس والنسانيس والقرود والإنسان.
(١١) رتبة من القوارض عاشت في أمريكا الجنوبية من عصر الأوليغوسين حتى العصر الحالي (التخريز)

القليلة الأولى من عملنا، كان في تنامي تحقيقنا من أن الحيوانات التي وجدناها في وادي تنكويريريكيا عاشت في أثناء هذه الفترة من تاريخ مجهول سابقا. لقد ساور علماء الأحافير الشك في أنه في أثناء هذه الشفرة الغامضة في السجل الأحفوري، فإن الكثير من السلالات الفريدة بأمريكا الجنوبية دخلت في عملية تنوع سريع جدا وبالفعل، تحوي عيناتنا أقدم تسجيل لعدة مجموعات من الحافريات القديمة وتمثل على الأقل 25 نوعا من الثدييات وجميعها تقريبا أنواع جديدة لم يكتشفها العلم من قبل [أنظر الموطر في هذه الصفحة]. وقد شهدت هذه الفترة أيضا وصول القوارض والرئيسات، وكلاهما لم يكن من الثدييات الأصلية التي كانت تقطن أمريكا الجنوبية

ومدرعا *armadillos* وأحد القوارض الشبيه بالشينشिला *chinchilla-like*.

قد تحتاج معرفة الأهمية الكاملة لكشفتنا إلى سنوات، ولكننا عرفنا مباشرة أننا أمام شيء عظيم احتوت هذه الأحافير الجديدة بكل وضوح على الكثير من المعلومات حول تاريخ ثدييات أمريكا الجنوبية الحالية المتميزة - من بينها الكسلانيات والنسانيس وأكلات النمل والشينشيلانيات. وقد تطورت أسلاف هذه الحيوانات الحالية التي تشمل الكثير من المخلوقات التي وجدناها في وادي تنكويريريكيا. عندما كانت قارة أمريكا الجنوبية جزيرة. وبسبب حركة الصفائح الأرضية، بقيت أمريكا الجنوبية منفصلة عن الكتل القارية الأخرى معظم 80 مليون السنة التي أعقبت تقطع قارة بنجيا *Pangaea* العملاقة وقسمها الجنوبي، قارة كوندوانا *Gondwana* وقد شجعت فترة الانعزال الجغرافي هذه على تطور ثدييات أصلية تكيفت مثاليا مع ظروف هذه الجزيرة وكل شيء غريب مثل الحيوانات الفطرية (الأصلية) *indigenous* في الجزر الحديثة كاستراليا (مثال الپلاتيبوس ذي منقار البط وذب الكوال) ومدغشقر (المشهورة بليمورياتها). وتتضمن أسلاف مجموعات أمريكا الجنوبية الحديثة الاستثنائية الجرابيات القافزة، والجرابي السيفي الأسنان «القطط الزائفة» *pseudocats*، وأقرباء المدرع المجهز بذيل ضخيم على شكل هراوة مرصع بأشواك: وقوارض بحجم الدببة، وكسلانيات كبيرة بحجم الفيلة: وكسلانيات تسبح في البحر (الكسلانيات السباحة).

جمعت المعلومات عن أسلاف الثدييات الحالية التي تعيش في أمريكا الجنوبية، من الاكتشافات الأحفورية السابقة في پتاكونيا *Patagonia* ومناطق أخرى، غير أن المعلومات الحاسمة عن الكثير من هذه الأسلاف بقيت محيرة. فقد عرف علماء الأحافير مثلا أن الكسلانيات وأكلات النمل قد بدأت قبل 40 مليون سنة كما فعلت عدة سلالات شاذة هي الآن منقرضة (تتضمن بعض الجرابيات والحافريات القديمة). ولكن لم تكتشف على الإطلاق أحافير تمثل الانتقال إلى المرحلة الثانية من تاريخ الثدييات في أمريكا الجنوبية - منذ قرابة 40 وحتى 30 مليون سنة. والشيء الأكثر إثارة لنا في السنين

مهاجرون أفارقة⁽¹⁾

لم تكن نسانيس العالم الجديد ومجموعة قوارض «الكافيمورفا» (تشمل في الوقت الحاضر خنازير الماء والشيتشيليات وأقرباءها) من سكان أمريكا الجنوبية الأصليين، ولكنها وصلت قبل 25 مليون سنة عندما كانت أمريكا الجنوبية جزيرة. وقد جادل بعض الباحثين في أن أسلاف الحيوانات عبرت الممر المائي الأقصر نسبياً، أي من أمريكا الشمالية؛ غير أن الأحافير الجديدة المكتشفة في أواسط تشيلي دلت بوضوح على أن حيوانات المجموعتين أكثر انتماء إلى أسلاف في إفريقيا. ومن المحتمل أن الحيوانات الأصلية التي استعمرت أمريكا الجنوبية قد هاجرت من إفريقيا إلى أمريكا الجنوبية على جزر عائمة من النباتات، أو بالية انتشار أخرى نادرة لا نعتقد أنه يمكن التعرفها.

نسانيس:

شلسيبوس كاراسكوانسيس⁽²⁾

جمجمة صغيرة (طولها 5 سم وعمرها 20 مليون سنة) لنسانيس صغير وزن كيلوغراماً واحداً أو أقل، ويمكن أن يشابه القرد الأمريكي الصغير (في اليسار).



قارض:

نوع جديد لم يصنف بعد

جزء من فك (طولها 2 سم) لقارض عمره 32 مليون سنة، وهو أحد أقدم اثنين من أحافير القوارض التي وجدت في أمريكا الجنوبية، وهو قد يشابه الأكوتي agouti الحالي (حيوان بحجم الأرنب قصير الشعر والأذن) (في اليسار).



القوارض القديمة في أمريكا الشمالية بها أربع حديدات فقط. وتوحي هذه المقارنات بوجود علاقة وثيقة وقوية بين قارض التكويرييركا وحيوانات إفريقيا. وبعد عدم وجود أسلاف حيوانات «الكافيمورفا» في طبقات الأحافير الأقدم في أمريكا الشمالية، الذي يبدو مقبولاً، دليلاً داعماً أيضاً لنظرية المنشأ الإفريقي لهذه الحيوانات.

يبدو أن مستعمرة «الكافيمورفا» الأصلية قد ارتحلت من إفريقيا إلى أمريكا الجنوبية على أجزاء من جذوع الأشجار أو أطواف من كتل الأخشاب - للأطلاع على أفضل تخمينات العلماء عن كيفية ارتحال حيوانات ونباتات استثنائية متنوعة إلى الكثير من المناطق المنعزلة جغرافياً [انظر «أسرار حقب الحياة الوسطى في مدغشقر» - **العلوم** - العددان 574 (2003)، ص 36] قد تكون فكرة الرحلة عبر المحيط، التي يصعب تصديقها، غير محتملة الحدوث، ولكنها أكثر احتمالاً في إطار البيئة العالمية قبل نحو 32 مليون سنة وفي ذلك الزمن. كان عرض المحيط الأطلسي الجنوبي في تضيق نفاطه نحو 1400 كم - أي نصف عرضه الحالي - وكانت التيارات البحرية من الشرق نحو العرب في المناطق المدارية قوية بصورة عرضية.

ربما تكون هذه الظروف قد سمحت برحلة مدتها قرابة أسبوعين ويمكن أن تكون الحيوانات قد دخلت خلالها في سبات (سكون) وأيضاً منخفض إلى أبعد الحدود خلال أوقات الاجهاد. إضافة إلى ذلك كان مستوى سطح البحر في ذلك الزمن ينخفض (بسبب تشكل مسطحات جليدية على القطب الجنوبي وما حاوره)، ومن ثم، يمكن أن تكون جزيرة بيركانية أو أكثر قد شكلت نقاط ارتكاز، وهي الآن مغمورة، مما جعل عملية العبور أكثر سهولة.

أنظمة بيئية واعدة⁽³⁾

باستخدام طريقة تحديد أعمار جديدة ودقيقة جداً تعتمد على تحليل كميات ضئيلة من غاز الأركون المحتبسة داخل بلورات الصخور المحتوية على الأحافير، حددنا أن قوارض وتدييات «تكويرييركا» الأخرى تعود إلى ما قبل 33 مليون إلى 31.5 مليون سنة.

Alejan Insuarez
Emerging Ecosystems
Orlenobus clausenensis

وللمساعدة على حل هذا النقاش، قارنا التفاصيل التشريحية لحيوان التكويرييركا ببقايا القوارض التي وجدت في أماكن أخرى من العالم وقد جاءت المعلومات الأكثر دلالة من شكل الأسنان الصغيرة التي لا تزال في أمكنتها على الفك السفلي (الفك العلوي والأضراس - الطواحن). لم يعثر عليها حتى الآن. ويدل ذلك الشكل على أن أضراس الفك العلوي لحيوان التكويرييركا تحوي خمس حديدات متميزة على سطحها - كما هي الحال في أضراس الفك العلوي في القوارض الإفريقية التي عثر عليها في الفترة الزمنية نفسها وبالمقابل فإن الأضراس العليا لأنواع

القرابة التي وصلت من الشمال (أمريكا الشمالية) قبل نحو 35 مليون سنة عندما اتصلت الأمريكتان لأول مرة ببرج (ينما) ويتفق علماء الأحافير على أن قوارض «الكافيمورفا» الأولى قد وصلت في وقت ما في أثناء الفترة الزمنية الطويلة (من 35 مليون إلى 25 مليون سنة)، بينما كانت أمريكا الجنوبية جزيرة. ولقد تلحت أحافير «الكافيمورفا» الأحدث إلى أن الأسلاف أتت من إفريقيا. غير أن الكثير من الباحثين وجدوا أنه من الأسهل أن نتصور أن القوارض المهاجرة قامت برحلة أقصر، أي من أمريكا الشمالية، وربما عن طريق سلسلة من الجمر الكاريبية.



أسنان طويلة التاج

يوضح الفك الأيمن المكسور لعنكب تنكويريريكا بحجم الخروف، الأسنان المقاومة للاهتراء النموذجية للحيوانات التي ترعى في مروج العشب، تمتد التيجان المغطاة بطبقة واقية من المينا بعيداً تحت اللثة نحو نهايات جذور الأسنان - مما يؤمن مواد إضافية لتعويض الاهتراء في البناء نمو السن.

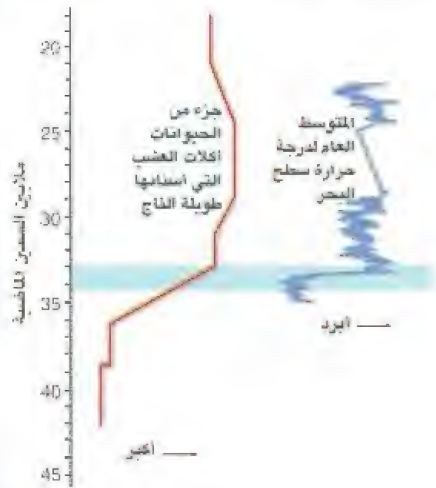


أسنان قصيرة التاج

يوضح الفك الأيمن السفلي لعنكب تشيلي قديم لم يسبق بعد، أن طبقة المينا الواقية تغطي فقط أجزاء التيجان التي تغلو خط اللثة. ومثل هذه الأسنان لا تلائم النظام الغذائي المحتوي على الرمل، فهي عادة لحيوانات ترعى الأوراق أو الأعشاب الطرية.

أسنان «تخبر» بكل شيء^(١)

تمتلك معظم أحافير الحيوانات العاشبة المكتشفة في وادي تنكويريريكا بتشيلي، التي عمرها 32 مليون سنة، أضراساً طويلة التاج Hypsodont تشابه أضراس الماشي (الأبقار والأغنام...) الحالية التي تستخدمها في طحن النباتات اللينة الرملية، وتشير هذه الأضراس المتخصصة إلى أن منطقة تنكويريريكا كانت أرضاً عشبية جافة عندما كانت تلك الحيوانات تعيش فيها. وفي زمن أبكر، كانت معظم أمريكا الجنوبية مغطاة بغابات كثيفة وكانت نسبة الأنواع العاشبة فيها ذات الأضراس الطويلة التاج أقل (الخط الأحمر في الرسم البياني). إن تغير المناخ (الخط الأزرق القائم) إلى مناخ أبرد، ومن ثم أكثر جفافاً، قبل نحو 34 مليون سنة (الخط الأفقي العريض الأزرق القائم) يمكن أن يفسر تجمّع الغابات المورقة.



ويشير نمو مسطحات جليد القارة الجنوبية وظواهر أخرى إلى أن المناخ العالمي قد صار أكثر برودة وجفافاً. فإذا عرفنا أن تغيراً مناخياً رئيسياً قد حدث تماماً عندما كانت ثدييات تنكويريريكا تزدهر، فقد دفعنا ذلك إلى تحري ما إذا كانت الحيوانات وبيئاتها قد تجاوزت مع تلك التغيرات.

لقد سمحت لنا قرائن متعددة من الأدلة غير المباشرة بإعادة بناء موطن ثدييات التنكويريريكا، مع أننا لم نجد قط أحافير نباتية من الصخور نفسها وكشف التحليل المبكر لأسنانها عن أن حيوانات «التنكويريريكا» لا بدّ وأنها عاشت في نظام بيئي مختلف تماماً عن النظام الذي عاشت فيه أسلافها المباشرة ومعظم ثدييات أمريكا الجنوبية الأقدم والمعروفة في الفترة الواقعة بين 65 و 34 مليون سنة حيوانات من أكلات العشب كانت ترعى النباتات الغابية الخضراء النموذجية، مثل أوراق الأشجار والأعشاب (في الواقع، تؤكد الأحافير النباتية أن الغابات المورقة كانت تغطي على ما يبدو مساحات واسعة من أمريكا الجنوبية في أثناء تلك الفترة) فالثدييات التي تاكل هذه الأغذية الطرية، بما فيها البشر، تتمتع بأسنان قصيرة التاج مع غطاء رقيق من المينا الواقية يغطي السن إلى الخط الفاصل مع اللثة.

وعلى النقيض من ذلك، تمتلك معظم حيوانات «التنكويريريكا» العاشبة أسناناً ذات تاج طويل جداً مع مينا يمتد ما بعد الخط الفاصل مع اللثة إلى نهاية الجذر تقريباً، وهذه حالة معروفة باسم «الأسنان الطويلة التاج» hypsodonty، ويجعل مينا السن الإضافي (مينا السن أقصى من عاج السن في باطنه) الأسنان طويلة التاج أكثر مقاومة للاهتراء من «الأسنان القصيرة التاج» brachyodonty، وبكل تأكيد تقريباً طوّرت حيوانات «التنكويريريكا» العاشبة مثل هذه الأسنان استجابة للجسيمات الساحبة الموجودة ضمن الأغذية التي كانت تأكلها. كما فعلت الماشية والظباء والخيول والحيوانات الأخرى التي تاكل العشب الرمل في المروج المفتوحة والسافانا في أمكنة أخرى من العالم ومن الجدير بالملاحظة أيضاً أن أسنان ثلثي جميع أنواع

مستقلين آخرين حول كمية الأمطار السنوية والغطاء النباتي اللذين كانا سائدين في النظام البيئي القديم في وادي «تنكويريريكا» فقد كشفت التحاليل الإحصائية (تحاليل سينوكرام والموطن الكبير) لعدد من الأنواع مصنفة حسب أحجامها في مجموعات، أن حيوانات «التنكويريريكا» تشابه، إلى حد بعيد، مع المجموع الجبواني الحالي الذي يعيش في سهول العشب الجاف مع رفع من الغابات مثل أجزاء السافانا في إفريقيا أو سواحل «كاتينكاز» Caatingas (منطقة شمال شرق البرازيل) و«شاكو» Chaco (منطقة شمال شرق الأرجنتين) في أمريكا الجنوبية.

وبشيء من الاستغراب، قوبل استنتاجنا بأن موطن «تنكويريريكا» القديم كان مفتوحاً

حيوانات «التنكويريريكا» كانت ذات تاج طويل، وترداد نسبة الكائنات التي تيجان أسنانها طويلة مقارنة بالأنماط السنية الأخرى. ازدياد نسبة الموطن المفتوح، ثم إن نسبة أسنان حيوانات «التنكويريريكا» ذات التيجان الطويلة قد تجاوزت حتى المستوى الملاحظ لدى الثدييات الحالية في المواطن المفتوحة مثل «السهول العظمى» Great Plains في أواسط أمريكا الشمالية.

تقضي هذه النتائج أن العواشب في «تنكويريريكا» كانت ترعى في مروج العشب المفتوحة وليس في الغابات، ولكن الأسنان ليست هي الدليل الوحيد في هذا الاستنتاج فقد رُويّا خريجتنا السابق في الدراسات العليا «D» كروفت» (وهو حالياً استاذ في جامعة كيس وسترن ريزرف) باستنتاجين

The fossil mammals of the Chilean Andes (١)

١. ذات ناح سي قصير (التحرير)

أحافير الثدييات في الأنديز التشيلية^(١)

إن ما أعطى هذه الأحافير كل هذه الأهمية هو ما قدمته من وسائل متقدمة لفهم التاريخ الجيولوجي في هذا القطاع من جبال الأنديز. فالعمر الأحداث غير المتوقع للثدييات القديمة يبطل الافتراضات السائدة حول عمر صخورها المضيفة، مشيراً إلى أن ذلك الجزء من الأنديز قد تشكل على الأقل بعد 70 مليون سنة مما كان يُظن سابقاً، وكان يعتقد لمدة طويلة أن عمر معظم الصخور التي تشكل العمود الفقري للسلسلة الرئيسية لأواسط جبال الأنديز التشيلية، التي سماها ووصفها للمرة الأولى هنري داروين، يعود على الأقل إلى 100 مليون سنة؛ كما أن المراحل الأولى لرفعها كانت قديمة بصورة مماثلة. وقد مكّن تحديد عمر الرواسب المحتوية على الأحافير لرفعنا من أن يحسب، لأول مرة وبدقة، الزمن الذي بدأ فيه هذا الجزء من جبال الأنديز بالارتفاع والتشكل: بين ما قبل 15 مليون و 18 مليون سنة. استمر الرفع على فترات، وما زال يحدث حتى الآن. ومن الواضح حالياً أن الأحواض الواسعة المملوءة بالرواسب قد تشكلت في أثناء المراحل البركانية من التاريخ الجيولوجي للسلسلة الجبلية، وذلك بتشكيل الأنظمة البيئية القديمة في المنطقة، الفريدة من نوعها، وتوفير الوسيلة الكفيلة لحفظ سجل الثدييات القديمة المثير.



تعد الطبقات الحاملة للأحافير التي دُفنت نحو الأعلى واصبحت شبه شاقولية تقريباً، دليلاً مثيراً على القوى التكتونية التي ضخمت أواسط تشيلي عبر ملايين السنين. وتقع هذه المنحدرات الشديدة بالقرب من بحيرة لاجا Lake Laja الواقعة على بعد 300 كم إلى الجنوب من وادي تنكويريريكّا.

وحتى الآن، ومع ذلك، فإنّ الاشتباه في أنّ السهول العشبية نتجت من التبريد العالمي يحتاج إلى إنعام أكثر للنظر ويشكل اختبار إضافي للعلاقة السببية المباشرة وسيلة للبحث في المستقبل.

لا توجد نسانيس هنا وهناك^(٢)

بعد أن تم اكتشاف مثل هذا الكنز الدفين والغني بالمعلومات الأحفورية والبيئية في مواقع متعددة من وادي «تنكويريريكّا»، بدأنا نفكر فيما إذا كان هذا الجزء من جبال الأنديز «ضربة حظ» أحفورية. وبعد ذلك

وجافاً نسبياً ويحتري على أعشاب فقيرة، ذلك لأنّ جميع الأدلة السابقة تشير إلى أنّ السهول العشبية المفتوحة الأولى (الأقدم) على القارات الأخرى لم تظهر إلا قبل نحو 18 مليون سنة. وظهور سهول تنكويريريكّا العشبية قبل ذلك بنحو 15 مليون سنة قد يكون نجم عن اتجاه المناخ العالمي ليصبح جافاً وبارداً في ذلك الزمن - وربما ازداد الوضع حدة بسبب ظاهرة ظل المطر الناتجة من ارتفاع جبال الأنديز. ويبدو أن السهول العشبية كانت أفضل تلازماً مع المناخ الأكثر برودة وجفافاً من الغابات المورقة التي عاشت في أثناء آلاف السنين السابقة

وبسرعة قادنا غائق غير متوقع إلى الجواب كانت إعادة بناء الطريق المؤدية إلى وادي «تنكويريريكّا» في ربيع عام 1994 بطيئة على نحو استثنائي، ولكننا لم نعلم شيئاً عن هذا العائق حتى وصولنا إلى مسرح الحدث. لقد تحولنا من الإحباط إلى اغتنام الفرصة، وبدأنا بالاستكشاف خارج الوادي

فقد استكشفنا أودية رئيسية أخرى تُبدي التكتشفات نفسها من الصخور الرسوبية البركانية المنشأ التي تغطي آلاف الكيلومترات المربعة من المناطق الجبلية. لقد حددنا خلال السنوات المتتالية من العمل الحقلّي أنّ أحافير الثدييات لم تكن في الحقيقة مقتصورة على وادي «تنكويريريكّا» وأنّ سيل الحمم البركانية الذي أغرق المروج القديمة لم يكن كارثة منعزلة ولمرة واحدة. وفي الواقع، إنّ احداثاً مدبرة كهذه حصلت بصورة متكررة إذا نظر إليها عبر ملايين السنين وفي كل حادثة. تُدفن الرواسب الأقدم تحت طبقات كثيرة من المواد البركانية الاندفاعية الإضافية (وما تحويه من عظام) بصورة دائمة إلى أعماق أكبر وفي النهاية فإنّ ثخانة هذا التراكم المتطيق من الرواسب (وتحولت إلى صخور) مع الحمم البركانية (اللابات) تريبو على 3 كم وفيما بعد ضغط تقارب صفائح القشرة الأرضية (التكتونية) هذا الركام الصلب بشدة نحو الأعلى

وإنّ تحاليلنا المستمرة للمجموعات الحيوانية المتعددة التي يراوح عمرها بين 10 ملايين و 40 مليون سنة، تكشف عن أفكار جديدة حول تاريخ المنطقة وأحد مكتشفاتنا الحديثة والأكثر أهمية، من موقع يبعد 100 كم شمال منطقة «تنكويريريكّا» في حوض تصريف نهر كاشاپوال Cachapoal River، كان الجمجمة الأكثر كمالاتاً حتى الآن لنسانس مبكر من العالم الجديد وهذه الجمجمة التي يبلغ طولها 8 سم، مع ما تحمله من أوتابا وأسنان كاملة محفوظة حفظاً جيداً في الفك العلوي، تنتمي إلى نسانس صغير يزن على الأكثر نحو 1 كغ وهذا المخلوق، الذي دعي شيلبيسياس كاراسكوانسيس Caracarasacensis، كان يشابه نسانيس العالم الجديد الحالية، مثل نسانس المارموسيت marmoset

(١) The fossil mammals of the Chilean Andes (٢) No Monkeying Around (٣)

(١) ج. و. ب. وهو نظرة العين (التحرير)



وتُلاحظ بصورة خاصة على العينة (اليمنى) الأسنان الطويلة التاج المميزة للحيوانات العاشية. أما المجموعة الأخرى التي تعود لحيوان حافري آخر أكل للأوراق الطرية، يدعى نوتوبيثيسين *notopithecine*، فقد اكتشفت حديثاً بالقرب من نهر تينو *Teno*.

جماجم العواشب، كما شوهدت أول مرة في الحقل، حُفّلت في أرضية خشنة متحجرة مكونة من رماد وطين من اندفاعات بركانية قديمة. وحتى قبل إخراج العظام من الصخر، حدد الباحثون العنيتين كنوعين من الحيوانات الحافرية العاشية المعروفة بالحافريات القديمة *notoungulates*.

إن الأحافير التي اكتشفت في جبال الأنديز التشيلية في طبقات يعود عمرها إلى حقبة السينوزوي، تساعد على توضيح تطور الثدييات. إضافة إلى توضيح التحولات البنية في أمريكا الجنوبية، وهي القارة التي يمثل انعزالها المديد على شكل جزيرة اختباراً طبيعياً رائعاً لدراسة الظواهر التطورية الكبيرة.

الأبعد سير طويل على الأقدام أو ركوبا على الخيول أو حتى باستخدام الطوافة (الهليكوبتر) ونشير هنا، مازحين، إلى «مقولة «أندي»» (سميت كذلك تكريماً لـ «اندره وايس») التي تذكر أنّ الصعوبة في الوصول إلى موقع تكون متناسبة مع كمية ونوعية الأحافير التي سوف تجدها.

والتامارين *tamarin* وكما حدث مع قوارض «الكافيمورفا»، فالخبراء يناقشون منذ مدة طويلة فيما إذا كانت نسانيس العالم الجديد قد نشأت في أمريكا الشمالية أو في إفريقيا ولكن التفاصيل التشريحية لجمجمة النسانس «شيليسيباس» وأسنانه تنم عن إرثه المشترك مع مجموعة الرئيسات التي نشأت في إفريقيا. ومثل ما حصل مع قوارض «الكافيمورفا» يبدو أنّ أسلاف النسانس «شيليسيباس» قامت بطريقة ما بعبور المحيط الأطلسي قادمة من إفريقيا.

بدءاً من المجموع الحيواني في منطقة «تنگويريريك» وانتهاءً بالنسانس «شيليسيباس» والمكتشفات المستمرة الأخرى عبر أواسط تشيلي، تُبرهن الرواسب البركانية، التي أهملت في السابق عند التنقيش عن الأحافير، أنّها تحوي عظاماً محفوظة حفظاً جيداً، وأنّها تتضمن الآن السجل الرئيسي لتطور ثدييات أمريكا الجنوبية. ومع مر السنين، توصلنا إلى إدراك واضح لمظهر الصخور الواعدة. حتى إنّنا كنا قادرين أحياناً على تعرفها من عدة كيلومترات. لقد حصلنا على هذه الأحافير بجهود كبيرة، ومع ذلك فقد بذلت هذه الجهود لتخطي صعاب التضاريس الشديدة الانحدار والمسافات البعيدة للكثير من المواقع. وتقع بعض المواقع ضمن بضعة كيلومترات من الطرق الحصى والممرات الرملية، ولا يمكن الوصول إلى معظم الآخر

المؤلفون

John J. Flynn - André R. Wyss - Rwyinaldo Charrier

في العشرين سنة الماضية، تحرّى المؤلفون مع التاريخ الأحفوري المدفن في جبال الأنديز التشيلية «غلاين» هو رئيس وأمين متحف فريك *Frick* التابع لقسم علم الأحافير في متحف التاريخ الطبيعي الأمريكي بمدينة نيويورك وعميد مدرسة الدراسات العليا الجديدة التابعة لهذا المتحف «وايس» أستاذ علوم الأرض في جامعة كاليفورنيا. أما «شاريير» فهو أستاذ الجيولوجيا في جامعة تشيلي بسانتياغو ويشكر المؤلفون معني الأحافير المتخصصة لدعمهم الاستثنائي لهذا البحث. كما يشكرون المتحف الوطني للتاريخ الطبيعي في سانتياغو والمحس الوطني للنصب التذكارية في تشيلي ومؤسسة العلوم الوطنية في الولايات المتحدة وإدارة الطيران والفضاء الأمريكية (ناسا) واللجنة الوطنية للأبحاث النقابة والعلمية في تشيلي.

مراجع للاستزادة

Splendid Isolation: The Curious History of South American Mammals. George Gaylord Simpson. Yale University Press, 1980.

Cenozoic Environmental Change in South America as Indicated by Mammalian Body Size Distributions (Cenograms). Darin A. Croft in *Diversity and Distributions*, Vol. 7, No. 6, pages 271-287; November 2001.

The Tinguiririca Fauna, Chile: Biochronology, Paleoeecology, Biogeography, and a New Earliest Oligocene South American Land Mammal "Age." J. J. Flynn, A. R. Wyss, D. A. Croft and R. Charrier in *Palaogeography, Paleoclimatology, Paleoeecology*, Vol. 195, No. 3/4, pages 229-259; June 15, 2003.

For more details about the mammal lineages that inhabited South America when it became geographically isolated, visit www.dcpaleo.org/Research/SAMammals/SAMammals.html

Scientific American, May 2007



الحدود المنطقية والرياضياتية

كانت التحديات التي واجهت علماء الرياضيات عبر التاريخ عديدة، بل إن بعضها تطلب قرونا من الجهد للتغلب عليها. ويرى <P. J. دولاهاي> أن اكتشاف استحالات أساسية وإثباتها يعدان جزءا من أبرز عناصر التقدم.

بالمسطرة والفرجار فإن π حل لمعادلة جبرية معاملاتها أعداد صحيحة (مثل المعادلة $11x^3 - 2x^2 - 3 = 0$) غير أن ليندلمان تمكن من إثبات أن π ليس حلا لآية معادلة جبرية معاملاتها أعداد صحيحة (نقول عن π إنه متسام transcendant وليس جبريا algeb). وهذا يؤدي إلى استحالة تربيع الدائرة. ونلاحظ هنا أن لدينا نتيجة طبيعتها معاكسة لتلك المتعلقة بصمم $\sqrt{2}$ فكما تبين لنا أنه من الخطأ القول إن جميع الأعداد منطقية (أي تكتب على شكل نسبة عددين صحيحين)، فإنه من الخطأ القول أيضا إن كل عدد يمكن كتابته بصيغة حل لمعادلة جبرية معاملاتها صحيحة.

إن الموضوعات الخمسة لإقليدس، وهي مسئلة المتوازيات، حثرت الرياضياتيين خلال زمن طويل. فهل ظهرت هنا أيضا حدود لا يمكن تجاوزها؟

لنذكر بما جرى كان إقليدس قد نصّر في كتابه «الأصول» The Elements على مسلمّات الهندسة الأساسية، وكانت إحدى هذه المسلمّات تكافئ القول إنه «من نقطة مفروضة خارج مستقيم مفروض يمر مستقيم واحد - وواحد فقط - يمر من مواز للمستقيم المفروض والغريب، بالنسبة إلى على الأقل، أن الرياضياتيين كانوا يعتقدون بأن هذه المسلمة ليست مستقلة، وأنه ينبغي استنتاجها من باقي المسلمّات. وهكذا قضى الرياضياتيون نحو عشرين قرنا محاولين البرهان على مسئلة المتوازيات إلى أن دنا

Les limites logiques et mathématiques عنوان مقالة القاها <P. دولاهاي> في فحصر الاكتشاف بباريس، وقد طُرحت عليه الأسئلة الواردة في هذه المقالة من قبل مجلة Pour la Science، ونشرت في العدد 352 من هذه المجلة

وهي الأخت الفرنسية لـ العلوم

انظر أيضا «مواجهة الحدود المنطقية للعلم»، العلوم، العدد 2 (1997)، ص 4

<P. دولاهاي> أستاذ المعلوماتية في جامعة ليل Lille الفرنسية ويجري أبحاثه في مختبر المعلوماتية الأساسية في مدينة ليل

(rational) أو غير نسبي (irrational) منطق أو نسبي

(أو نسبية)

هو مؤلف شهير وضعه إقليدس في الهندسة، أسس من خلاله ما نعرفه اليوم بالهندسة الإقليدية (التحريير)

متى تم اكتشاف وجود حدود رياضية؟

منذ القديم فمن أبرز النتائج التي توصل إليها قدماء الرياضياتيين الإغريق، نحو القرن الخامس قبل الميلاد، اكتشاف أن $\sqrt{2}$ أصم وهذا يعني أنه لا يمكن كتابة $\sqrt{2}$ على شكل نسبة عددين صحيحين إنها نتيجة بسيطة البرهان (انظر الموطر في الصفحة المقابلة)، وهي تكافئ القول: إن قطر المربع لا يمكن قياسه بضلع المربع كوحدة طول - أي إن وحدة الطول المحددة بضلع المربع لا تسمح بالتعبير عن طول القطر كنسبة عددين صحيحين. في حين كان الاعتقاد السائد يعتبر أن جميع المقادير الهندسية أو الفيزيائية تقبل القياس، ولذا كان اكتشاف أن $\sqrt{2}$ عدد أصم (غير نسبي) بمثابة صدمة

هل لمحدودية سلطة الأعداد الصحيحة صلة بمسألة تربيع الدائرة التي وضعها أيضا قدماء الإغريق؟

هناك صلة، لكنها صلة ذات طابع رجعي لا أكثر، وذلك عندما ننظر للمسألة بمنظار اليوم. لنذكر أن مسألة تربيع الدائرة التي طرحها «أناكساغور» على نفسه، في القرن الخامس قبل الميلاد، كانت تتمثل في إنشاء مربع، باستعمال المسطرة والفرجار، مساحته تساوي مساحة فرص تحيط به دائرة معلومة، وبعبارة أخرى، يتعلق الأمر بإنشاء مربع يكتفي باستخدام فرجار ومسطرة غير مدرّجة، أي برسم مستقيمتين بالمسطرة وينقل الأطوال بواسطة فتحة رأسي الفرجار وهكذا تُرَدُّ مسألة تربيع الدائرة إلى الانطلاق من طول معلوم بوصفه وحدة (وهو نصف قطر الدائرة) وإنشاء طول يساوي π وحدة (وهو طول ضلع المربع الذي تساوي مساحته مساحة الدائرة) لقد ظل الجواب النهائي عن هذا السؤال عالقا أكثر من 20 قرنا ذلك أن الرياضياتي الألماني <F. فون ليندلمان> قدّم الإجابة عام 1882، وكانت الإجابة بالنفي: تربيع الدائرة بالمسطرة والفرجار مستحيل وقد جاء الجواب عن هذه المسألة الهندسية عام 1837، بعد أن تم إدراك أن الإنشآت بالمسطرة والفرجار متصلة بسلسلة من العمليات الجبرية الأولية الجمع والطرح والضرب والقسمة واستخراج الجذر التربيعي. ومن ثم اتضح أنه إذا كان الطول π قابلا للإنشاء

التك خلال القرن التاسع عشر في إمكانية تحقيق هذا الهدف وكانت فكرة البرهان على هذه الاستحالة لافتة لأنها أوجت بمفهوم النموذج الذي كان بالغ الأهمية في المنطق الرياضي. ويتعلق الأمر باختيار مجموعة كينونات (رياضياتية) entities، بعضها يسمى نقاطا وبعضها الآخر يسمى مستقيمات: ثم اختيار علاقات بين تلك الكائنات الموافقة لمسلّمات الهندسة وإذا أنشأنا مثل هذا «النموذج» الذي تكون فيه جميع مسلّمات الهندسة محققة، باستثناء مسلّمات المتوازيات، وبرهنا على أن هذا النموذج لا يؤدي إلى تناقضات، فإننا نكون بذلك قد أثبتنا بأن مسلّمات المتوازيات مستقلة عن المسلّمات الأخرى. كان «بُلترامي» عام 1868 أول من قدم مثل هذا الإنشاء. وهو يتمثل في اعتبار (سطح) كرة وتسمية «نقطة» كل ثانية من نقطتين متقابلتين قطريا على سطح هذه الكرة، وتسمية «مستقيم» كل دائرة لها قطر أعظمي على هذا السطح يمكننا بعدئذ أن نرى أن جميع مسلّمات إقليدس محققة على هذه الكرة باستثناء مسلّمات المتوازيات. لا يمكن رسم «مستقيم» يمر بـ «نقطة» خارج «مستقيم» D ويوازيه، أي لا يلقي D. لقد كان هذا الاكتشاف شأنه شأن اكتشاف الاستحالات الأخرى، مثيرا لأنه ولّد هندسات غير إقليدية.

هل توجد حدود لا يمكن للاستدلال الرياضي ذاتها أن يتجاوزها ؟

يمكن أن يمس المنطق الرياضي النظريات الرياضية ذاتها. أي القضايا التي يمكن الدّهان عليها انطلاقا من بعض المسلّمات وهذا شأن تطور المنطق الرياضي وفي هذا السياق هناك نتيجة استحالة شهيرة هي اللاحسمية the undecidability التي توصل إليها «كوديل» ما بين عامي 1930 و 1931. كان عالم المنطق النمساوي «كوديل» قد برهن أنه إذا أخذنا مجموعة من المسلّمات نتيج تطوير حساب الأعداد الصحيحة فإنه توجد خواص صحيحة تتعلق بهذه الأعداد ستكون للاحسمية، أي خواص صحيحة إلا أنه من المستحيل إثباتها اعتمادا على مجموعة المسلّمات التي انطلقنا منها لقد صارفتنا حالة مماثلة في الهندسة أن مسلّمات المتوازيات مسلّمات للاحسمية. إذ أننا نستطيع إضافة هذه المسلّمات، أو إضافة نقيضها، إلى مجموعة المسلّمات الهندسية من دون أن يترتب على ذلك تناقضات. والواقع أن نظرية «كوديل» أقوى من ذلك فهي تنصّ على أن كل نظام مُسلّم مُتّين بحيث يمكن تطوير الحساب الأولي، فإن هذا النظام يحتوي حتما على عبارة صحيحة لكنها للاحسمية. وحتى أن رفعت هذه العبارة إلى مرتبة المسلّمات، فإن النظام المُسلّم الحاصل عليه بهذه الطريقة سيخضع بدوره لحكم نظرية «كوديل»، حيث ستظهر مجددا عبارة أخرى صحيحة، لكنها للاحسمية (يوضّح برهان «كوديل» كيفية إنشاء هذه العبارة الجديدة) وهكذا دواليك. ومن ثمّ يتبيّن أنه لا يوجد نظام مُسلّم كامل أنها نتيجة شديدة محيرة جدا، وقد تمت مناقشتها كثيرا. وهي نتيجة مركزية في كل تفكير حول طبيعة الرياضيات

Prover l'irrationnalité de $\sqrt{2}$

1. irrationnalité ou «عدم قابلية البت».

2. نظر «كوديل» وجود المنطق «الغلاف» العدد 10 (2001)، ص 40



حسب مبرهنة الألوان الأربعة التي تم البرهان عليها عام 1976 فإن أربعة ألوان تكفي لتلوين أية خريطة مستوية بحيث يكون لونا كل بلدين متجاورين (بافتراض أن كلا منهما بشكل منطقة واحدة) مختلفين (هنا المحيط يحد الخريطة ولا يمثل لونا خاصا). كان إثبات هذه المبرهنة أول برهان اعتمد بشكل أساسي على عمل الحاسوب.

البرهان على أن $\sqrt{2}$ عدد أصم (غير نسبي)

لإثبات أن $\sqrt{2}$ لا يكتب على شكل نسبة عددين صحيحين، يمكننا الاستدلال بالخلف proof by the absurd: نفترض أن هذا العدد يكتب على الشكل p/q ، حيث p و q عدنان صحيحان، ثم نبرهن على أن ذلك يؤدي إلى تناقض نستطيع اختيار p و q بحيث لا يكون الاثنان زوجيين معا (ولا اختصرنا 2 في الكسر) نربّع طرفي المساواة المقترضة، وهي $\sqrt{2} = p/q$ ، فنحصل على المساواة $p^2 = 2q^2$ التي نستنتج منها أن p زوجي (لأن مربع عدد فردي يساوي عددا فرديا) يسمح ذلك بكتابة $p = 2p'$ ، حيث p' عدد صحيح وهكذا نحصل بعد التعويض على $4p'^2 = 2q^2$ ، أي $q^2 = 2p'^2$ ومن ثمّ نستنتج أن q زوجي أيضا. وهذا تناقض لأننا انطلقنا من كون p و q ليسا زوجيين في آن واحد. وعليه فالفرضية الأولى القائلة بأن $\sqrt{2}$ يكتب على الشكل p/q ، هي فرضية خاطئة

ومع ذلك كانت هناك معوقات في الرياضيات قاومت طويلا، لكنها استسلمت في نهاية المطاف. هل بالإمكان أن نعطينا أمثلة على ذلك ؟

هناك في جميع مراحل تاريخ الرياضيات، مُخَمَّنَات conjectures - وهي خواص تبدو صحيحة ومهمة، غير أننا لا نستطيع البرهان عليها. وقد قاوم بعضها عدة قرون قبل أن يتم البرهان عليها، في حين ظل بعضها الآخر يتحدى الرياضياتيين إلى يومنا هذا. رأينا مثلاً على ذلك في العدد π وتربيع الدائرة: كان التخمين في مطلع القرن التاسع عشر يرى أن العدد π عدد متسام transcendant، ومن ثمّ فتربيع الدائرة قضية مستحيلة. وهذا ما أثبتته فعلاً «ليندلمان» بعد نصف قرن، وكان ذلك عام 1882. وهناك مثال آخر يتعلق بمخمة الأعداد الأولية تعطي تقديراً لندرة الأعداد الأولية (وهي الأعداد التي

تمثل نظرية غوديل نتيجة مُحدَّدة محيرة جداً، وهي نتيجة مركزية في كل تفكير يتعلق بطبيعة الرياضيات.

لا نقبل القسمة إلا على 1 أو على ذاتها) عندما تتزايد (هذه الأعداد) في الكبر وكان «كاوس» قد تنبأ بالنتيجة عام 1792، لكن البرهان عليها أتى بعد أكثر من قرن (كان ذلك عام 1896) على أيدي «آدامار» و «دي لافاللي بوسين» (كلُّ على حدة). واللافت للانتباه أنه توجد مخمة أخرى تقدم توضيحاً إضافياً بخصوص تناقص كثافة الأعداد الأولية، إنها «فرضية ريمان Riemann». وقد تمت صياغة هذه المخمة عام 1850، ومازالت حتى الآن من دون برهان، وهي تشكل اليوم إحدى أهم مخمّنات الرياضيات ويبقى أن نعرف ما إذا كان الأمر يتعلق بعائق ظرفي أو أنه يعكس صعوبة أكثر عمقاً

هل تُطرح هذه القضية بخصوص مخمّنات أخرى عصية ؟

نعم، لقد طرحت على سبيل المثال في حالة مخمة فيرما Fermat التي أصبحت نظرية عام 1994، بفضل «ويلز»⁽¹⁾، وذلك بعد مضي 350 سنة على ظهور نصها (تقول النظرية إن المعادلة $x^p + y^p = z^p$ لا تقبل حلولاً x, y, z من الأعداد الصحيحة الموجبة إذا كان العدد الصحيح p أكبر من 3 أو يساويه). وفي العصر الحديث تسأل بعضهم، أمام عناد مخمة فيرما - وقد حدث هذا أيضاً مع مخمّنات أخرى - عما إذا كان الأمر يتعلق بعبارة لاحتمية لكن هذا القول لا يحمل معنى إلا إذا وضّحنا نظام المسلمات الذي نعتقد أن فيه عبارة لاحتمية. ذلك أنه لا توجد عبارات لاحتمية بصفة مطلقة، فليس هناك سوى لاحتمية نسبية، أي بالنسبة إلى نظام مسلمات معين.

هناك نظريات لم يتم البرهان عليها إلا باستخدام الحاسوب، ألا توجد هنا محدودية لسلطة الرياضياتيين ؟

سوف أعرض مثلاً يوضح ما هو الوضع اليوم لقد كانت أول مسألة تم حلها باستخدام الحاسوب استخداماً أساسياً هي مسألة الألوان الأربعة four colour problem تنص هذه المسألة على أن كل خريطة جغرافية مستوية (مهما كانت تعقيداتها، شريطة أن يتشكل

كل بلد من منطقة واحدة) تتطلب فقط أربعة ألوان لتلوينها بشكل يكون فيه لوناً كل بلدين متجاورين مختلفين. وقد لاحظ هذه الخاصية أحد علماء الخرائط الإنجليز عام 1852، لكن البرهان لم يقدّم إلا عام 1976 على أيدي الرياضياتيين الأمريكيين «آبل» و «W» هاكلز. غير أن برهانهما تطلب، فيما تطلب، استعراض عدد ضخم من التشكيلات، وهو العمل الذي كُفّف بإنجازه الحاسوب، ذلك أنها مهمة شاقة لا يمكن القيام بها يدوياً وعليه كان لزاماً أن ننق في الحاسوب لتصديق برهان هذه المسألة وهنا كان البعض منزعجاً من عملية تحويل السلطة للآلة، إلا أن عمل الحاسوب يمكن أن يراقب من خلال حاسوب آخر. وقد تمّ بعد سنوات إدخال بعض الاختصار على البرهان. ومن ثمّ، صارت اليوم بعض البراهين التي ساعد على إنجازها الحاسوب براهين مقبولة في معظم الأحيان، شأنها شأن البراهين التي يقوم بها الرياضياتيين يدوياً من أولها إلى آخرها. والملاحظ أن هناك وضعيات لم تُثر الكثير من التردد. مثال ذلك المخمة المسماة مخمة روبينس Robbins التي صيغت عام 1933، وحُلّت عام 1996 بواسطة الحاسوب. غير أن البرهان المقدم من قبل الحاسوب كان قصيراً نسبياً، فتم التأكيد منه يدوياً، ومن الواضح أن ذلك أفضل.

هناك أيضاً حالات تظل فيها مسألة تصديق البرهان عالقة...

هذا صحيح، وهو ما حدث في مخمة كيبلر Kepler التي تقول إن التكدسات الأكثر كثافة لكرات متطابقة لها (التكدسات) الكثافة نفسها التي نجدها بوجه خاص لدى باعة البرتقال. تعتبر تنصيدياً طبقياً توضع فيه الكرات وفق شبكة مربعة، وتنصيدياً طبقياً آخر وفق شبكة مثلثية. إن لهذين التنصيديين الكثافة نفسها، وهي تساوي $\pi/18$. والمطلوب هو إثبات أنها تمثل الكثافة الأعظمية كانت هذه المسألة مطروحة منذ مطلع القرن السابع عشر. وفي عام 1998 قدم الرياضياتي الأمريكي «هيلس» برهاناً على مخمة كيبلر، وهو عمل تطلب الكثير من الحسابات المعقدة قام بها الحاسوب، ولا يمكن التأكيد منها يدوياً. ثم إنه لا يستبعد أن ترتكب البرامج الحاسوبية المستخدمة في هذه الحالة أخطاء حسابية، لذا تُعَدُّ صعوبة في التحقق من البرهان. والجدير بالذكر هنا هو أن لجنة الخبراء التي كُلفت بفحص برهان «هيلس» قبل الموافقة على نشره لم تبت بشكل نهائي في صلاحية البرهان، لأن هؤلاء الخبراء لم يقوموا بما يكفي من الحسابات التي تمكنهم من التحقق من البرهان. ولحل هذا الإشكال، اقترح «هيلس» حلاً تمّ العمل به عام 2005 بخصوص مسألة الألوان الأربعة. يتمثل ذلك في إعداد صيغة للبرهان (تكون فيها جميع مراحل الاستدلال والحسابات معروضة على شكل قواعد منطقية صورية تعمل ضمن نظام مسلماتي مفروض). ثم التحقق من البرهان بواسطة الحاسوب. إن جعل العمل على شكل قواعد أمر ليس بالسهل، لكنه سيسرّ التأكيد من صحة البرهان من خلال الأداة المعلوماتية. وهنا لدينا ناحية ذات أهمية خاصة: إن الحاسوب لا يساعد على إثبات النتائج فحسب بل يساعد أيضاً على التأكيد من براهين طويلة ومعقدة. وفي بعض الحالات الخاصة يبدو الحاسوب الأداة الوحيدة التي يمكنها توفير ضمان أخير للمصادقية.

(1) انظر «ميرمنة فيرما الأخيرة»، العدد 1 (1999)، ص 26



مربعة في اليسار). وفي عام 1998، اقترح برهان طويل ومعقد على هذه المخمئة، لكنه لم يتم التصديق عليه لغاية الآن؛ بعض أجزاء هذا البرهان تستخدم برامج حاسوبية يعتبر التأكد من صحتها بالغ الصعوبة.



تنص مخمئة كيبلر Kepler على أن التكدسات الأكثر كثافة لكرات متطابقة، لا تتجاوز كثافتها (التكدسات) $\pi/\sqrt{18}$ وهي كثافة التكدسين المنتظمين المتثلثين هنا (شبكة مثلثية في اليمين، وشبكة

هل بإمكانكم تقديم بعض الأمثلة حول مخمئات كبرى تعتبر مهمة. ومع ذلك ظلت بمثابة مسائل مفتوحة

لنأخذ على سبيل المثال مربعات السودوكو⁽¹⁾ sudoku التي تكون شبكاتها بحجم $3^2 \times 3^2 \times (9 \times 9)$ ، والتي يمكن تعميمها إلى أحجام أكبر، مثل $4^2 \times 4^2$ ، $5^2 \times 5^2$ ، إلخ. ويمكن أن يكون حل مسألة من مسائل السودوكو بالغ الصعوبة، والشائع أن الصعوبة تتزايد مع ازدياد حجم الشبكة. فقد تم بالفعل البرهان على أن حل مسألة السودوكو ذات الحجم $n^2 \times n^2$ بالغ الصعوبة، بمعنى أنها مسألة NP-تامة⁽²⁾ NP-complete ويدل الانتماء إلى هذا الصنف من الصعوبة على أن المدة اللازمة لحل مسألة سودوكو $n^2 \times n^2$ تتزايد أسياً مع n . غير أننا لن نكون متأكدين من ذلك إلا عندما نبرهن على أن كل مسألة «NP-تامة» مسألة صعبة أسياً. ذلك هو بالضبط موضوع المخمئة $P \neq NP$. وثمة العديد من الرياضياتيين والمعلوماتيين الواثقين من صحة هذه المخمئة، لكن لا أحد منهم استطاع الإتيان ببرهان عليها. والأخطر من ذلك أن هناك من يدرس بجد احتمال أن تكون المخمئة $P \neq NP$ لاجسمية ضمن النظام المسلماتي المعتاد للحساب، إلا أنه لا يتوافر لدينا حتى اليوم أي مسلك قد يؤدي إلى برهان هذه المخمئة، إذ إن جميع الطرائق فشلت في هذا المضمار. إننا أمام لغز كبير، طرحته دعوى $(P \neq NP)$ تبدو بديهية، لكننا لا نرى سبيلاً إلى إثباتها

ثمة أنواع متعددة من المخمئات الرياضية، بل وضعت كتب خصصت بأكملها لعرض مسائل غير محلولة. كما توجد بعض المسائل الشهيرة المتميزة ببساطة طرحها أو بأهميتها البالغة. وقد اقترحت أنفاً إلى فرضية ريمان. وهناك أيضاً مخمئات حسابية من مميزاتها سهولة طرحها، وهي تبدو كالنواذر، لكنني لا أعتقد أنها كذلك. وإحدى هذه المخمئات مخمئة الأعداد الأولية التوائم. ثمة

للحاسوب المساعدة على إثبات بعض النتائج، لكنه تطيع أيضاً المساعدة على التحقق من براهين طويلة ومعقدة.

الاعتقاد بأنه يوجد عدد غير منته من أزواج الأعداد الأولية التوائم، أي أزواج الأعداد الأولية التي يساوي الفرق بين عددي هذه الأزواج 2 (مثل الأزواج 17 و 19؛ 59 و 61؛ 827 و 829). وفضلاً عن ذلك يلاحظ أن تناقص الأعداد الأولية التوائم في مجموعة الأعداد الأولية هو من المرتبة نفسها التي تناقص وفقاً الأعداد الأولية في مجموعة الأعداد الصحيحة جميعها. غير أنه لم يتم البرهان على وجود عدد غير منته من الأعداد الأولية التوائم، ولا على تناقص كثافتها وفق القانون الذي توحي به المشاهدات. كما أن هناك مسألة حسابية شهيرة، هي مخمئة كولدباخ Goldbach التي تنص على أن كل عدد زوجي صحيح أكبر من 2 يكتب دائماً على شكل مجموع عددين أوليين (مثال: $44 = 37 + 7$).

هل هناك وعود بمكافأة مالية لحل بعض كبرى المخمئات...

نعم، وهذه هي حال المخمئة المسماة $P \neq NP$ ، التي تعتبر واحدة من المسائل الرياضية السبع التي خصصت لها عام 2000 مكافآت (طريق دولار لكل منها) من قبل معهد كلاي Clay⁽³⁾، ومخمئة $P \neq NP$ قضية عميقة تتناول موضوع الصعوبة في المسائل المطروحة.

(1) طرح الألماني «P» هيلبرت (1862-1943) عام 1900 في المؤتمر الدولي الثاني للرياضيات 23 مسألة رياضية معقدة شغلت منذ ذاك التاريخ جميع الرياضياتيين وقد أدى ذلك إلى ظهور فروع رياضية جديدة. وفي عام 2000، وأسوة بـ «هيلبرت»، يادر الأمريكي «دا كلاي» [مؤسس معهد كلاي للرياضيات] إلى تمويل جائزة بقيمة ملايين دولار من أجل حل سبع مسائل رياضية مستعصية سميت مسائل القرن الحادي والعشرين.

(2) لعبة السودوكو السودوكو مربع يحمل جدولاً يتكون من 9 أسطر و 9 أعمدة، ويُقسم المربع إلى مربعات صغيرة تحمل جدولاً بـ 3 أسطر و 3 أعمدة صغيرة يملأ جزء من الخانات بالأعداد من 1 إلى 9، ويطلب أن تملأ باقي الخانات بالأعداد من 1 إلى 9 بحيث لا يتكرر العدد نفسه في العمود نفسه، ولا في السطر نفسه، ولا في أي مربع من المربعات الصغيرة. ثم تطورت هذه اللعبة وأصبح المربع الكبير يحمل أكثر من 9 خانات عمودياً وأفقياً. انظر «العلم وراء لعبة سودوكو»، «العلوم» العددان 7/8 (2006)، ص 22.

(3) انظر: «محدود البحث عن سيب»، «العلوم» العددان 4/3 (2006)، ص 11.

قوة المحولات الريبية⁽¹⁾

إن اكتشاف بقايا من عالم منسي تُسيّره جزيئات
الـ RNA قد يقود إلى وسائل جديدة لمكافحة الأمراض.

< F I > باريك - < R R > بريكر

القواعد (الأسس) النتروجينية الأدينين والتايمين والسيتوزين والكوانين، التي تنظم مرتبطة بعمود فقري يتعاقب فيه السكر والفسفات إن ما يبلغ تسعين في المئة من دنا بكتيرية نمطية مكسّر لتعليمات تكوّن تجميع قطع مأكينة البروتين، التي تسرع وتنظم الخطوات الكيميائية للاستقلاب الضروري لبناء خلية جديدة من لاشي.

وتُستهلك تلك السيورورة في أرضية المصنع الخلوي، عندما تشرع انزيمات بوليميراز الرنا في الإمساك بالدنا الجينومي، وتبدأ بنسخ أجزاء من مثله على شكل الجزيئات الكيميائية المماثلة من الرنا (الحمض النووي الريبسي المرسال) (mRNA) وتكون الخلايا البكتيرية على عجلة من أمرها لدرجة أنه ما إن يكاد يشرع جزيء من البوليميراز في قراءة رسالة الدنا وفي نسخها، حتى يزحمه جزيء آخر من الإنزيم، مظهف ليبدأ النسخة التالية من الرنا ويكوّن معظم الرسائل بروتيناً مفرداً، مع أن بعضها، ويُعرف بالـ **أوبيرونات** (المشغلات) **operons**، يصف كيفية صنع طاقم تام من البروتينات المتصلة تشغيلاً بعضها بعض. ويُعدّ الرنا من الناحية الكيميائية أقل شيئا من الدنا، وتتعامل الخلية البكتيرية مع هذه النسخ المتعددة من الرنا المرسال (mRNA) وكأنها صور ضوئية ورقية فسرعان ما تُسرق نسخ الرنا المرسال غير المستعملة وتعيد دورتها، وبذلك تُورع فقط

المُمرضات البكتيرية على المحولات الريبية كي تضبط أوجها مختلفة من الاستقلاب الأساسي الخاص بها إن استمرار هذا الشكل القديم من التنظيم الذاتي في الكائنات الحية الحالية يشهد على أهمية هذا التنظيم فـالخلايا البكتيرية تتمتع بتلاؤم مدّش ويكونها مصانع كيميائية ذاتية الاعتماد مكرسة لصنع منتج واحد نهائي نسخ لانتهائية (متصلة) من ذاتها لكن فقط الذاري - التي نمكنت من الحفاظ على هذه السلسلة السريعة من السُّلالات في وجه ذلك التناقص المُهلك على الموارد في بيئات متغيرة - هي التي بقيت حية هذا الأجل

ضبط المخزون

إن مقدرة البكتيرية على صنع منات الجزيئات المعقدة المطلوبة لتضاعف (تتنسخ) ذاتيا خلال فترة تبلغ في قصرها عشرين دقيقة، تسد بجينوم الدنا DNA المزدوج الشريطة، الذي ينسخه كل كائن حي، جيلا إثر جيلا، نسخا صحيحا مطابقا للأصل. إن كتيب التشغيل هذا مكتوب بالقباء، النكليوتيدات الأربعة للدنا: أي

في خريف عام 2000، أثار فضولنا لغز يتعلق بالطريقة التي تُمدّر بواسطتها البكتريات أمر فيتامياتها فإضافة إلى الدليل المتزايد الذي يدعم النظرية المثيرة للتحدي المتعلقة بالحياة الباكّة على الأرض: جنبا إلى جنب مع جهودنا الخاصة لبناء محولات **switches** بدءا من جزيئات بيولوجية، فإن الاحصية البكتيرية وجهت مجموعتنا المختبرية في جامعة ييل للبحث عن حل لهذا اللغز. وما وجدناه كان مفاجأة تفوق كثيرا في غرايتها ما توقعناه كان شكلا جديدا من أشكال الضبط الخلوي الذاتي، عماده واحد من أقدم أنماط الجزيئات المعروفة في الخلية، إنه الحمض النووي الريبسي، أو الرنا RNA.

ومع أنه عُد بصورة أساسية ولدج طويل من الزمن **مرسالا** متواضعا، فقد كان يمكن أن يصير للرنا، كما اتضح فيما بعد، سلطان مهم واليات معقدة كي يفرص الاعتراف بحقوقه ومع أن وظائف هذا الصنف الحديث الاكتشاف من جزيئات الرنا التي أطلقنا عليها اسم **المحولات الريبية** **riboswitches** لا تزال قيد التوضيف، فمن الواضح فعلا أنها قد تقدم طرائق جديدة لمكافحة الأمراض البشرية فعلا، تُعول كثرة من أنواع

نظرة إجمالية/ منابله محولات بالغة القدم

- تعود مهمة تنظيم قاعلية الجينات عادة إلى بروتينات المراقبة، ولكن بكتريات معينة تستعمل رسائل الرنا كي تتصرف على بعض البنى التحتية الخلوية القيمة.
- إن أشكال الرنا ذات القدرات الشبيهة بالبروتينات تقدم دعما لفرضية عالم أولي يحكمه الرنا.
- إن المحولات الريبية التي اكتشفت حديثا هي مجموعة من جزيئات رناوية، تحمل رسائل تُنسخ من الدنا، وتتخذ أيضا القرارات اللازمة فيما إذا كان يجب تنفيذ تلك التعليمات المتضمنة في الرسائل.
- تنظم المحولات الريبية عددا كبيرا من السيورورات الأساسية في الميكروبات؛ وهذا يجعل تلك المحولات أهدافا محتملة لعقاقير جديدة مضادة للميكروبات.

THE POWER OF RIBOSWITCHES (xx)
Inventory Control (xx)
Overview: Flipping Ancient Switches (xxx)
(١) جمع بكتيرية
(٢) messenger أو رسول
(٣) turned chain of descent
(٤) operon
(٥) operationally related proteins
(٦) paper photocopies (٦)

النسخ ذات أوامر التشغيل الطازجة على الريبوسومات: ماكينات مصنع بناء البروتينات

كما أن الريبوسومات هي الأخرى، على عجلة بالغة من أمرها. فتصطف بمطبا كالمشاحنات الصندوقية للقطار، كي تسرع في قراءة وتنفيذ تعليمات الرنا المرسال، حتى قبل أن ينهي تماما إنزيم البوليميراز نسخ الرنا المرسال. فالريبوسومات تتحرك برشاقة على طول مسار الرنا المرسال لتحل (تفك) كود كل ثلاثة من ثلاثيات النكليوتيدات المتعاقبة، مترجمة إياها إلى الحموض الأمينية النوعية التي تُكوِّنها. وتضيفها إلى السلسلة الببتيدية النامية ومع انبثاق الجزيء البروتيني من الريبوسوم، فإنه يتثنى على نفسه ليشكل بنية ثلاثية الأبعاد معقدة، وتحرر بذلك قطعة جديدة من الماكينة وتغدو جاهزة للقيام بوظيفتها

وتعتمد الخلية اعتمادا خاصا على فئتين من البروتين كي تُبقي على إنتاجها الكيميائي ناشطا على نحو سلس: البروتينات الناقلة التي تحمل جينة وذهابا المواد الأولية، والإنزيمات التي تسرع استحالة تلك المواد عبر خطوات متعاقبة في دوائر الاستقلاب ومسالكه ذات السرعة البالغة ولكن البكتيريا حريصة على ألا تبدد شيئا من مواردها بصنعها بني تحتية غير ضرورية لذا فقد آتت آلات ضبط تستطيع إعاقه نقل أوامر تشغيل تلك التجهيزات كاستجابة لتغيرات في احتياجها إلى المغذيات^{١٠} ومبلغ تيسر الحصول على هذه المغذيات وما إن فهم العلماء الكيفية التي تعمل وفقا لها تلك المراقبات الخلوية، حتى برز، بادئ ذي بدء، سر تدبير أمر القيتامينات

نمطيا، توظف البكتيريا عددا من البروتينات تتفحص باستمرار المخزونات المتاحة من المواد الأولية المختلفة، وتعديل وفقا لذلك عدد البروتينات الناقلة والإنزيمات المخصصة لكل خط من خطوط الإنتاج. فمثلا الكابت Lac repressor Lac في بكتيريا المعى «الإشريكية القولونية» هو معقد بروتيني يحصر حرية الوصول إلى النسخ الأصلية^{١١} لدينا لكل من البروتين الناقل الذي يضح سكر اللاكتوز (سكر اللبن) داخل الخلية، كما يحصر إنزيما



للبيكتيرة إلى هذين البروتينين، فإنه يرزم (يلف) النهاية الموجّهة (القائدة) لتعليمات الرنا المرسال حول ذاتها رزما محكما وهذا الرزم يمنع الريبوسوم من تعرف موقع وظيفي صحيح على نسخة الرنا المرسال الخاصة بالبروتين الناقل كي يشرع في الترجمة إن صادرة النهاية الموجّهة لشريطة الرنا المرسال المتكونة تتسبب في انثناء سائر الشريطة على شكل دبوس الشعر تتربط شُعْبَتَاهُ إحداهما بالأخرى بتزاوج (تشافغ) النكليوتيدات

١٠ أو الريباسات أو الحسيمات الريبية
factory's protein-building mechanisms

١١ أو المغذيات

١٢ Lac أوبديرون لازم لنقل سكر اللاكتوز واستقلابه في الإشريكية القولونية وبعض البكتيريا المعوية الأخرى. ويتكون من جينة منظمة وحينات تركيبة

blueprints

Lac complex

sequestration

(التحرير)

يشطر جزيء اللاكتوز إلى جزيئين منفصلين ليصبح بذلك متاحا للاستعمال كوقود عندما تدعو الحاجة إلى ذلك. وحالما يصبح تركيز اللاكتوز فوق عتبة معينة، فإن معقد Lac^{١٢} ينفصل عن قالب template الدنا، فيزول فعله الكابت، الأمر الذي يسمح باستهلال انتساخ الجينات

إن البية تنظيمية مماثلة، تعتمد على بروتينات مراقبة، تقرر ما يجب فعله بشرائط الرنا المرسال التي انتسخت من الدنا الجينومي ففي بكتيريا التربة «العصوية الرقيقة» *Bacillus subtilis* يوجد معقد بروتيني، يعرف باللفظة الأوانلية TRAP، يتحكم في أوبيرون (مشغل) يكود إنزيمات خاصة بتركيب الحمض الأميني «تريتوفان» كما يتحكم في أوبيرون آخر يكون ناقل التريتوفان فعندما يتحسس المعقد TRAP أنه لا حاجة



المنتقام، الأمر الذي يؤدي إلى إنهاء انتساخ الرسالة على نحو مبتسر (قبل الأوان) [انظر المؤطر في الصفحة المقابلة].

إضافة إلى هذه التجهيزات الخاصة بتنظيم ماكينة تصنيع البروتينات الخلوية الأساسية، فإن البكتيريا تتجول حاملة صندوق أدوات ضخما، تصنع بواسطته مواد كيميائية دخيلة، فمثلا، علينا نحن البشر أن نحصل على المغذيات، التي نسميها فيتامينات، مما نأكل: في حين أن البكتيريا تعرف كيف تصنعها بتجميعها من لاشيء. إن مجموعة كبيرة من الفيتامينات الأكثر تعقيدا هي في الواقع نسخة محوَّرة من تميمات الإنزيمات^(١) coenzymes، إنها، كما يلح إلى ذلك اسمها، جزيئات صغيرة تساعد الإنزيمات البروتينية على إنجازها وظائفها.

بذات صلة، وبغية فهم كيف حدث ذلك، لا بد إذاً من العودة ثانية إلى الريبوسوم.

ميراث عالم الدنا^(٢)

قد تشكل البروتينات العجالات وأسنان العجالات والقنوت والأحزمة (السيور) التي تنقل المواد الأولية إلى داخل خلايا جديدة، ولكن ليست جميع التجهيزات الأساسية في المصنع (الخلية) مبنية من البروتين. والأكثر جدارة بالذكر أن للريبوسوم لباً يتكون من النكليوتيدات ذاتها التي تشكل رسائل الرنا المرسال التي يقرأها. ومع أن الرنا الريبوسومي^(٣) (rRNA) يستهل كنسخة من شريط التلغراف الكاتب^(٤) لنسخة الدنا الأصلية، فهو يختلف عن الرنا المرسال في

كانت هذه النسخ الضوئية تنتهي كأوراق أوريغامي^(٥) "ممسوسة"، وتختار مصائرها الذاتية.

أنه لا يحتوي على تعليمات لصنع شيء آخر وبدا من ذلك، فإن الرنا الريبوسومي ينتهي أنيا على نفسه في شكل محدد تماما، تترايط في داخله قواعد النكليوتيدات بعضها ببعض، فتتشابه كثيرا مع الحلقة الطرقية المنهية لدبوس الشعر.

وينتهي الرنا الريبوسومي على نطاق أكبر بكثير، ليتضمن عدداً من الوحدات التي تتقوى مواضعها أكثر فأكثر بتحويلات كيميائية دقيقة ويقوى قوام البروتين ودعمته أفلاع^(٦) هذه الوحدات subunits ويغلف سطوحها. لكن دراسات البنية بالتحليل الذري أوضحت أن لب الريبوسوم المسؤول عن تصفيـز تكوين الروابط الجديدة بين الحموض الأمينية، يتألف حصرا من الرنا.

ومما لا ريب فيه أن البراهين الحديثة على بنية الرنا دي المقدرة البروتينية التحفيزية كانت موضع إثارة لدى حسني الاطلاع على نظرية بداية الحياة التي تقدم بها في نهاية السبعينات <II> هويات <III> [من جامعة ديلاوير] فقد لاحظ هذا الباحث أن كثرة من تميمات الإنزيمات المهمة يحنوي تركيبها الكيميائي على مكونات من الرنا

إنها أدوات تخصص ذات وظائف كيميائية فعالة، تماثل المسدسات المسارية أو أدوات قطع الماس وللمسارات الاستقلابية الطويلة صلة ببناء تميمات الإنزيمات من مواد أولية. ومن الطبيعي أن تضبط البكتيريا المقتصدة هذا البناء الثمين بإحكام، وذلك بإيقاف المسارات الاستقلابية عندما لا تكون هناك حاجة إلى تميمات الإنزيمات.

وفي وقت متأخر من التسعينات تحرى العلماء بدقة الكيفية التي يتم بواسطتها تنظيم صنع بعض تميمات الإنزيمات في البكتيريا. فتعرفوا طرزا جزيئية تذكّر بمنظومتـي TRAP والكابت Lac. ومع ذلك، فإن محاولاتهم تعرف بروتينات الرقابة المسؤولة عن تحسس كل تميم إنزيمي والتحكم في انتساخ أو ترجمة الرنا المرسال استجابة لهذا التحسس، تمخضت عمليا عن لاشيء. وبرز سر أكثر غموضا، إذا لم يكن عن طريق بروتينات رقابة افتراضية، فكيف يمكن إذاً لماكينة الخلية أن تقيس مستويات تلك المغذيات muenprints لقد أتت الإجابة غير المتوقعة من أعمال الباحثين الذين يدرسون تطبيقات لجزيئات الرنا. وهي ظاهريا ليست

مثيرة للفضول فمثلا أدينوزيل كوبالامين (تيم إنزيم B₁₂) يحتوي على نكليوتيد كامل من الرنا^(٧)؛ كما أن بيروفسفات التيامين (تيم إنزيم B₁) تحمل معها قطعة piece ذات عمود فقري يتألف من السكر والفسفات ويبدو أن تلك القطع bits من النكليوتيدات تعمل كمقايض تمسك بها البروتينات. وحينئذ صرح «هوايت» أنه يمكن أن تكون هذه القطع بقايا أثرية، تعود إلى زمن بدئي سحيق^(٨) لم تطور فيه بعد الخلايا البدئية proto cells تخزين الدنا الحديث أو تركيب البروتين. وبدلا من ذلك، فإن الرنا كان يقوم حينذاك بمهمة مزدوجة: جزيء يخزن المعلومات وبوليمر^(٩) بيولوجي biopolymer قادر على الانشاء ليشكل ماكينة استقلابية، ويؤدي الوظيفة المعقدة المنوطة عموما ببروتينات اليوم.

وفي بدايات الثمانينات تم اكتشاف مثالين «حيين» على هذه العناصر القديمة من الرنا. أحدهما الإنزيم RNase P: جزيء رنا يوجد في البكتيريا التي تستطيع أن تشطر نسخا من الرنا الخام أما المثال الآخر فهو تسلسلات مدفشة من الرنا تحرر edit نفسها بنفسها من نسخ أطول من الرنا المرسال، فتتجزر تفاعلات الشطر الذاتي من خلال سلسلة تبادل روابط كيميائية. وقد فاز <٥> «التزان» [من جامعة بيل] و <٦> «RT سيش» [من جامعة كولورادو بولدر] بجائزة نوبل للكيمياء عام 1989 لاكتشافهما، على نحو مستقل، هذه البيانات التي أوضحت أن جزيئات الرنا ـ التي كان ينظر إليها حتى حينها على أنها مجرد رسائل سلبية غير فعالة^(١٠) ـ تستطيع التثني في شكل بنى ثلاثية الأبعاد معقدة. وتسرع التفاعلات الكيميائية، تماما كما تفعل الإنزيمات البروتينية. وإجمالا، سميت إنزيمات الرنا هذه، بما في ذلك

- (١) RNA World Legacy
- (٢) أو مساعدات الإنزيمات أو الكواينزيمات
- (٣) أو الربي أو الريباسي
- (٤) ticket-tape transcript
- (٥) crevices
- (٦) RNA nucleotide
- (٧) primordial time
- (٨) ويقال أيضا متمائر عكثور
- (٩) passive messages
- (١٠) orngami من ياباني مشهور خاص بطي الأوراق وتشكيلها في صورة أسماك وطيور وحشرات (التحرير)

بروتينات المراقبة في المصنع الخلوي

أن تكبت إنتاج التجهيزات حتى تستشعر الحاجة إليها، وتتجنس أن المواد الأولية اللازمة لصنع هذه التجهيزات متاحة. إن معرفة الآليات التي تستعملها البكتيريا ساعدت على اكتشاف وجود المحولات الريبية.

لكي يتناسق في البكتيريا صنع الأجزاء التي تحتاج إليها لتبقى وتتضاعف (تتسج) ولجعلها أقرب ما يكون إلى الكمال والفاعلية، تستعمل هذه الخلايا نمطاً بروتيناً مراقبة. وتستطيع هذه البروتينات

أرضية المصنع

إن خطوط التجميع ذات الحركة السريعة تصنع التجهيزات الخلوية بناءً على التعليمات الموقدة في جينات الدنا (في اليمين). تتحرك إنزيمات بوليميراز على طول شريطة الدنا، ناسخة جينة معينة إلى نسخة من الرنا المرسال (mRNA). يفسك الريبوسوم بالرنا المرسال بمجرد انبثاقه، ويشرع في ترجمة الرسالة التي يحملها إلى سلسلة من الحموض الأمينية؛ تتفنن على نفسها لتشكل بروتيناً كاملاً (وظيفياً).



جينة الإنزيم تعمل (حالة تشغيل)



جينة الإنزيم لا تعمل (حالة وقف تشغيل)



جينة ناقلة لا تعمل



جينة تركيبية لا تعمل



إدارة المخزون

تنظم بروتينات المراقبة صنع البكتيريا لأجزائها الأساسية من خلال آليات متنوعة (في اليسار). يقوم معقد كابت Lac^{suppressor} (في الأعلى) بوقف تشغيل جينة تكوّن إنزيم شطر اللاكتوز عن طريق إحصار إنزيم البوليميراز من الوصول إلى الدنا وذلك في حال غياب اللاكتوز. ولكن عندما يكون تركيز اللاكتوز مرتفعاً، فإن أحد مستقلباته يرتبط بالفراع (يشقوق) clefts في وحدات Lac^{suppressor}، فيتحرر الدنا ويتم تشغيل الجينة.

ينظم المعقد TRAP عمل الجينات ذات الصلة بتركيب ونقل الحمض الأميني «تريوتوفان»، وذلك باعتراضه نسخ مراسيل رناوات هذه الجينات بطريقتين. ففي حال وجود التريوتوفان، يرزّم هذا الحمض الأميني نهاية التسلسل الموجّه (القائد) للرنا المرسال الخاص بتركيب التريوتوفان حول نفسها، مسبباً تغير شكل جزء من شريطة الرسالة إلى شكل دبوس الشعر؛ وهذا يتسبب في إنهاء الانتساخ على نحو مبسّر (قبل الألوان) (الشكل السفلي الأيمن). كما أن التريوتوفان يعزل التسلسل الموجّه الخاص بمرسال نقل التريوتوفان، فيحصّر الريبوسومات من الوصول إلى موقع استئصال الترجمة (الشكل السفلي الأيسر).

[من مستشفى ماساتشوستس العام] طريقة لإحداث التطور في أنبوب الاختبار، مكّنتهم من إخضاع تريبليونات من تسلسلات الرنا التركيبية لاختبار دارويني؛ أي إن الجزيئات الأصلح (الأكثر تلاؤماً) ستستمر فباستعمال هذا التطور التجريبي (في أنبوب الاختبار)، اكتشفت مجموعة «شوستاك» وبسرعة تنوعات من بني رناوية قصيرة

وتمثل إسهام مجموعتنا البحثية في هذا المسعى بما قادنا في النهاية إلى تقصي ما بعد البروتينات. وذلك في ما يتعلق بالمنظومات الغامضة (الخفية) لإنتاج تميمات الإنزيمات البكتيرية.

محسّنات طبيعية

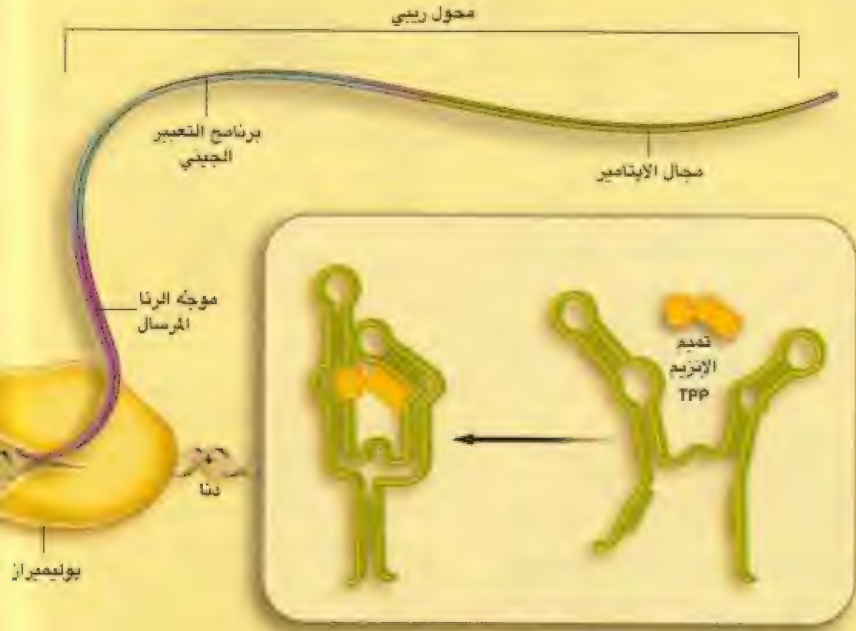
لقد طورت محسّنات «أ كولد» [من جامعة كولورادو بولدر] و«جويس» [من معهد سكريبس للأبحاث] و«W شوستاك»

الريبوسومات، «الريبوزيمات» nbozymes وفي بدايات التسعينات تطورت أدوات البحث الخاصة بمناولة الجزيئات البيولوجية خارج الخلايا الحية تطوراً استطاع معه الباحثون أن يجربوا باستعمالهم استعمالاً خلاقاً المقدرة المكتشفة حديثاً للرنا ليثني نفسه ويتخذ أشكالاً وظيفية ومعقدة وجزئياً. كان العلماء يشهدون اختبار الاستعمالات المتعددة للرنا، ومن ثم معقولة فرضية عالم الرنا: كما أنهم كانوا يبحثون عن تطبيقات تقنية بيولوجية (حيوية) جديدة للريبوزيمات

PROTEIN SUPERVISORS IN THE CELLULAR FACTORY (١٤)
Natural Sensors (١٥)
Lac repressor (١٦)
Lac subunits (١٧)
mysterious regulators (١٨)

محولات ذاتية التقرير

يعتمد تنظيم خلوي ذو شكل جديد، عُثر عليه مؤخراً، على نسخ رناوية معينة من الجينات لتر نفسها بنفسها. إن المحولات الريبية هي قطع من نهاية التسلسل الموجّه (القائد) لنسخة الرنا المرسل يمكنها أن تعين احتياج الخلية من البروتين المُكوّن (المُرْمَر) في بقية الرسالة، فتعيد عندئذ تنظيم ش الذاتي لتقرر في ما إذا كان ذلك البروتين سيُصنع. لذا، فالمحولات الريبية تمتلك مجالين مهمين: أبت (ملثم) يتحسس سُتقلبا معينا (في الأسفل)، وبرنامج تعبير جيني يؤثر في مصير الرنا المرسل يُخضعه لواحد من عدد كثير من إعادة التنظيمات البنوية الممكنة (في اليسار).



تحسس المُستقلبات

إن أبتاميرا لتيميم (مساعد) الإنزيم تيايدين البيروفوسفات (TPP) يحقق شكلا محددا (في اليمين)، وذلك عند مغادرته البوليميراز. وفي حال وجود تيميم الإنزيم TPP فإن الأبتامير يرتبط به قابضا على الجزيء بإحكام (في اليسار).

يمكنها أن ترتبط ارتباطا وثيقا بثالث فسفات الأدينوزين (ATP)، وكذلك بملونات عضوية كثيرة ويحموض أمينية ومضادات حيوية أطلق «شوسستاك» على جميع هذه الجزيئات الرناوية التي استولدت في المختبر اسم أبتاميرات (المثلثات) aptamers، وهو مصطلح اشتق من الاسم اللاتيني aptus ويعني ملائم (صالح) fitted وعلى الرغم من منشئها اللطبيعي، فإن أبتاميرات كثيرة تمتلك خاصية (نوعية) أكثر أهمية في السياق البيولوجي من مجرد ارتباطها بإحكام بجزيئاتها المستهدفة إنها ترفض جزيئات ذات تراكيب شديدة العلاقة.

لقد شرع مختبرنا في استثمار هذه الانتقائية الرفيعة بتصميم محسس sensor يُصنع من الرنا. وكانت الخطة تقتضي إنشاء أبتامير بمقدوره تعرف الجزيء المستهدف، وذلك بارتباطه به ووصله بقطعة أخرى من الرنا يمكنها أن تؤثر لحدث الوصل مقترنة مرئية. وبغية تحقيق الدور الأخير، وقع اختيارنا على الريبوزيم رأس المطرقة (hammer head). وقد سمي كذلك بسبب بنيته ذات الشكل المميز، وهو واحد من الريبوزيمات المعروفة ببساطة بنيتها وبكفاءتها العالية في الشطر الذاتي self-cleavage الطبيعي. فيمكننا، مثلا، أن نربط ميسما متفلورا (متالقا) fluorescent tag بإحدى نهايتي شريطتي رأس المطرقة والتي تسمى مجموعة كابحة توهم الغلورة تقع على مقربة محكمة من الميسم، وذلك ضمن بنية الرنا المنتهية. وما إن تعثر نهاية أبتامير (خاص بجهازنا) على الجزيء المستهدف وترتبط به، حتى يفصل الشطر الذاتي الذي يقوم به رأس المطرقة المجموعة الكابحة عن الميسم المتفلور، فيضيء عندئذ الجزيء نفسه، كما لو أن الستار أزيل عن المصباح.

وقد برهن الرنا على تلاؤمه مع وظيفة المحسس هذه لدرجة أننا استطعنا في ما بعد أن نطور ريبوزيمات مقترنة بأبتاميرات قادرة على تحسس تنوعات واسعة من الجزيئات وتقرير وجودها ويمكن تصنيف مجموعتنا من المحسسات على شريحة بالغة الصغر. واستعمالها للكشف الدقيق عن مركبات كيميائية كثيرة ومختلفة على نحو متزامن.

طبيعية، ولكننا لم نعثر إلا على إشارات مربكة تدل على وجود تسلسلات رناوية غير مُكوّدة، يُعرف أنها مهمة بطريقة ما للتنظيم الخلوي. وعندئذ قادنا تقصينا إلى سر البكتيريا وفيتاميناتها. فقد لفقت انتباهنا تنويها بالبروتين BtuB الذي يشكل جزءا من جهاز نقل مساعد الإنزيم B₁₂ إلى داخل بكتيرة الإشريكية القولونية *E. coli*. وبدأ نسخة الرنا المرسل التي تُكوّد البروتين BtuB بموجّه (بقائد) ضخم يتكون من 240 نكليوتيدا غير مُكوّدة، وزودنا طوله الاستثنائي بمفتاح

SELF DETERMINING SWITCHES (١٠)

(١) الجزء الضارب من المطرقة

وذلك حتى ضمن مزيج معقد وبالفعل، فإن الوضع الذي مكنا من أن ننشئ رناوات RNAs تتحسس جزيئات صغيرة وتحفز ذلك الترابط على إعادة تنظيم هادف لبنائها الذاتية، جعلنا نتساءل عما إذا كان التطور الطبيعي قد أنشأ أنواعا مشابهة من الرناوات فالريبوزيمات من عالم الرنا لا تزال تؤدي بوضوح مهام حاسمة في الكائنات الحية المعاصرة. فهل توجد تسلسلات غير مكتشفة لماكينات مهمة أخرى من الرنا، مخبأة في الجينومات المعاصرة؟ لقد شرعنا في تفحص سريع للأبحاث العلمية المنشورة (الأدبيات العلمية) بحثا عن الإماعات تشير إلى وجود ملصحات

بالطريقة نفسها التي ينظم بوساطتها البروتين TRAP رسالة نقل التريبتوفان في العضوية الرقيقة *B. subtilis* بمنع الريبوسوم من ترجمة هذه الرسالة وبناءً على ذلك، أطلقنا على هذا الجزيء «من الرنا، الذي يستطيع أن يحول التعبير الجيني من التشغيل إلى الإيقاف» from on to off، اسم «المحول الريبوي» riboswitch.

وفي الوقت الذي كنا نتحرى فيه التسلسل الموجّه الخاص بالبروتين BtuB. لغت انتباهنا أيضا وضع آخر لتنظيم غير مفسّر فلقد حدد بحث سابق أن أنواع الرنا المرسال المؤكّدة لأنزيمات تركيب الفيتامين B₁₂، ونواقل تيميّاته الأيضية في مجموعات مختلفة من البكتيريا تحوي جميعها فضاءً مشتركاً من تسلسل الرنا. وأن الطفرات في هذا التسلسل عطلت الكبت السوي لهذه الجينات في الخلايا التي تراكمت فيها كميات كافية من الفيتامين B₁₂ وفي الإشريكية القولونية أوبيرون (مشفّل) إنزيمي تركيب يملك فضاءً موجّهاً (قائداً) يحوي هذا التسلسل قرب الموقع الذي تبدأ فيه ترجمة البروتين الأول. وقد استطعنا البرهنة على أن الفيتامين B₁₂ بحث على تغيير تركيب في هذا الرنا المرسال على نحو يغلّق فيه بإحكام موقع الارتباط الخاص بالريبوسوم وبعد ذلك حددنا أن مجالاً صغيراً ضمن التسلسل الموجّه، يتألف من 91 نكليوتيداً فقط، يستطيع أن يرتبط بالفيتامين B₁₂. وكحساساتنا الصناعية، فإن هذه المحولات الريبوية الطبيعية تكونت من مجال إيتامير (ملثم) منفصل، يترابط بتسلسل «استجابي» وظيفي يتيح له تنظيم في ما إذا كان الفيتامين B₁₂ سيُنتج

لذا، لقد عثرنا على الأقل على نوعين من الرنا المرسال يُمَتَّعان بمقدرة استثنائية على مراقبة الشروط الخلوية، وعلى اتخاذ قراراتها الذاتية فيما إذا كانت الماكينات البروتينية التي تُكوّنها ضرورية كي تعمل دون تدخل من بروتينات مناظرة. فهذه النسخ الضوئية الورقية ليست رسائل سلبية غير فعالة. إنها تتثنى مثل أوراق أوريغامي المسوسة، وتختار مصائرنا الذاتية. وقد برهن هذان النوعان من الرنا المرسال على أنهما أكثر من مجرد شيتين غريبين ناديرين. ذلك أن أعضاء فريقنا البحثي، ومجموعات

stretch 11

إعاقة الترجمة



استجابات المحول الريبوي

تعمل المحولات الريبوية أنواعاً مختلفة من الاستراتيجيات كي تضبط صنع البروتينات. ففي حال غياب تميم الإنزيم TPP، يمكن لبرنامج التعبير الجيني أن يترك موقع استهلال الترجمة متاحاً للريبوسوم، فيسمح بذلك للتعبير عن التعليمات الجينية أن يبقى «في حالة تشغيل» (في اليمين). أما في حال ارتباط تميم الإنزيم TPP بالآيتامير، فإن بإمكان برنامج التعبير الجيني أن يشكل دبوس شعر يثبط الترجمة؛ وهذا «يوقف تشغيل» الجينة (في اليسار). ويشكل المحول الريبوي الذي يحسّس تميم إنزيم فلافين وحيد النكليوتيد (FMN) دبوس شعر مثله، يوقف انتساخ الرسالة الخاصة بوساطة اليوليميراز (b). إن ريبوزيما استثنائياً أُستثير من قبل الكلوكوز أمين-6 فسفات (GlcN6P) شطّر ذاته بشطر نفسه بنفسه (c).

والخاص بالبروتين BtuB قد احتوى على إيتامير طبيعي رابط للفيتامين B₁₂ عمل على تنظيم التعبير عن التعليمات المؤكّدة في الجينة ذاتها الخاصة بهذا البروتين؟ لقد استعملنا تقنية السبر في الخط in-line probing لوضع خريطة لأجزاء رسالة الرنا المرسال المؤكّدة للبروتين BtuB، والتي أصبحت أكثر نظاماً أو أكثر قابلية للانثناء في وجود الفيتامين B₁₂. ووجدنا بوضوح أكثر ثنية (انحدالا) جديدة قرب بداية منطقة تكوين الرنا المرسال الخاص بالبروتين BtuB. ويمكن لهذه البنية أن تفسّر تثبيط ارتباط الريبوسوم. وفي ما يبدو، أن الرنا المرسال ذاته يتحسّس الفيتامين B₁₂، فينظم نقله

للغز الأول لاحتمال أن تكون لهذا التسلسل وظيفة غير عادية كما أن فريقاً بحثياً آخر قد بين فعلاً أن إنتاج البروتين BtuB يثبط عندما تكون تراكيز الفيتامين B₁₂ في الخلية مرتفعة. ومع هذا، فلم يتم اكتشاف بروتين خفي يستشعر الفيتامين B₁₂

ونحن تعلم من أبحاث سبق أن نشرها آخرون بأن وجود الفيتامين B₁₂ يمنع بطريقة ما ارتباط الريبوسومات بالرنا المرسال الخاص بالبروتين BtuB. والمحت تجرية واحدة أيضاً إلى أن تغييراً تركيبياً ما في تسلسل الرنا المرسال الموجّه قد حدث في وجود الفيتامين B₁₂ فهل من الممكن أن يكون التسلسل الطويل للرنا المرسال الموجّه

المحولات الريبية والهندسة الارتدادية⁽¹⁾

واحد نوعي ذي جزيء صغير. ولجميع إيتاميرات أفراد الصف الواحد لب له البنية نفسها: حتى في الكائنات الحية البعيدة بعضها عن بعض تطوريا. ويمكن لتسلسل برنامج التعبير الجيني، الذي قد يشمل أيضا جزءاً من تسلسل إيتامير نفسه، أن يحتوي على التسلسلات التي تعيد تنظيم بنيتها الذاتية كي تؤثر في التعبير الجيني [انظر المظهر في الصفحتين 50 و 52]. وتجدر الإشارة إلى أن المحولين الريبيين للفيتامينين B₁₂ و B₁ اللذين كنا أول من قام باكتشافهما؛ يمتلكان برنامج تعبير جيني يمنع استهلال الترجمة، وذلك بأن يعمدا بنفسيهما إلى تغيير شاكلتيهما كي يخبئا في طياتهما التسلسلات التي يحتاج إليها الريبوسوم ليتعرف مثلاً أمراً صحيحاً بقراءة الرسالة. وهناك أمثلة أخرى على محولات ريبية تحتوي على هذه الإيتاميرات نفسها؛ تمتلك برنامج تعبير جيني يتسبب بإنهاء مُبتسر (قبل الأوان) لانتساخ الرنا المرسال عن طريق تشكيل دبوس شعر يعمل على خط فاصل مُنه terminator.

ومع تعاظم معارف فريقنا البحثي عن المحولات الريبية، أخذنا نؤمن أكثر فأكثر كيف أن التطور وازن بحدس بين الثاني والانفعا اللذين شكلا جوهر الية عمل المحولات الريبية. فمثلاً، يجب أن يحدث تمييز المستقلبات داخل الخلية في خلال مجرد ثوان قليلة؛ وهو الزمن الذي يحتاج إليه البوليميراز كي يتنسخ التسلسل الموجّه للرنا المرسال، ولترتبط به الريبوسومات وتشرع في الترجمة. لذا، فإن سرعة ارتباط المستقلبات، وليس بالضرورة قوة هذا الارتباط، أصبحت حاسمة لتحديد في ما إذا كان محول ريبى ما يستطيع أن يتحسس هدفه. فتسلسل التوقيت بين الإيتامير وبرنامج التعبير الجيني، الذي يجعل البوليميراز يتوقف عن الانتساخ توقفاً وجيزاً، ضروري أحياناً لإحداث تأخير يتيح للإيتامير وقتاً كافياً كي يأسر مستقبلاً ويعيد تنظيم برنامج تعبيره الجيني كما ينبغي.

عندما بدأنا بمسح جينومات بكتيرية بغرض البحث عن نماذج جديدة من المحولات الريبية، وجدنا أنه مازالت هناك مفاجآت أكثر

تم حتى الآن تعرف دزينة من صفوف المحولات الريبية، عُرفت عن طريق بنية إيتاميراتها (ملتماتها) ومع أنها تختلف فيما بينها في بعض سماتها وآليات عملها؛ فإنها تتشارك في مبادئ عامة قليلة فالمحولات الريبية هي نسخ من رسائل رناوية؛ قادرة على تنظيم تعبير جيناتها الخاصة بتقريرها فيما إذا كان على الرسالة المحتواة فيها أن تترجم إلى بروتين أو يجب تدميرها قبل أن يقرأها الريبوسوم. ويتخذ المحول الريبى هذا القرار بضبط ومراقبة احتياج الخلية للبروتين الذي يُكوّده من خلال مقدرة على تحسس مستقلّب مستهدف، ثم تغيير تركيبه الثلاثي الأبعاد استجابة لذلك فالمحول الريبى يحتوي إذاً على قطعتين مهمتين: تسلسل إيتامير الذي يتحسس المستقلّب، وتسلسل قطاعه التنظيمي المتضمن برنامج التعبير الجيني.

ويعمل إيتامير مستقبلاً معقداً لمستقلّب

بحثية أخرى، تعرفوا بسرعة محولات رناوية RNA switches طبيعية استجابت لتنوعات أخرى من المستقلّبات metabolites الخلوية الأساسية. وكانت هذه المحولات كامنة في المراجع العلمية

لقد ثبت في النهاية أن تسلسلاً مشتركاً مع أقارب للبكتيرة من العَصَوِيَّة الرقيقة *B. subtilis* هو محول ريبى يتعرف تميم الإنزيم SAM (S-adenosylmethionin). ومن جهة أخرى، عُرف أن عنصراً رناوياً يصادف في رسائل - تركيب ونقل تميم الإنزيم فلافين الوحيد النكليوتيد (الفيامين B₂) flavin mononucleotide، وهو أيضاً محول ريبى آخر. ويعتقد أن مقطعاً من الرنا المرسال يكود بروتينا يراقب الحمض الأميني «ليسين» في الإشريكية القولونية بشكل، في حقيقة الأمر، قطعة من معقد إيتامير الليسين lysine aptamer complex الذي ينظم تركيب هذا الحمض الأميني في طيف واسع من البكتيرات. وخلاصة القول: إن المحولات الريبية هي شكل واسع الانتشار من أشكال التحكم الجيني

أهداف مغرية⁽²⁾

إن عدداً كبيراً من البكتيرات، بما في ذلك المُعْزِضَات البشرية المخبئة أدناه؛ يستعمل المحولات الريبية كي تضبط فاعليات جيناتها الخاصة بها. لذا، يمكن للعوامل التي تسنّخ تلك المحولات الريبية أن تعمل كصفوف جديدة من المضادات الحيوية، وبخاصة إذا كانت العقاقير تُعطى وقليلة جينات أساسية لفوعة (ضراوة) الكائن الحي أو لبقائه. وقد أدرج أدناه عدد صفوف المحولات الريبية التي توجد في كل كائن حي. وعدد الجينات التي يُعرف بأنها تُنظَّم من قبل المحولات الريبية. وقد وضعت العلامة * فوق العدد للدلالة على أن جينة حيوية واحدة على الأقل تُنظَّم بواسطة محول ريبى.

معرض بكتيري بشري	صفوف محولات ريبية	أعداد الجينات التي يتم تنظيمها
<i>Acinetobacter baumannii</i>	4	6
<i>Bacillus anthracis</i>	9	82
<i>Brucella melitensis</i>	5	21*
<i>Enterococcus faecalis</i>	7	17
<i>Escherichia coli</i>	4	15*
<i>Francisella tularensis</i>	4	8
<i>Hemophilus influenzae</i>	5	15*
<i>Helicobacter pylori</i>	1	2
<i>Listeria monocytogenes</i>	9	49
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	3	13
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	3	27
<i>Salmonella enterica</i>	3	34*
<i>Staphylococcus aureus</i>	8	30*
<i>Streptococcus pneumoniae</i>	5	19
<i>Vibrio cholerae</i>	5	13
<i>Yersinia pestis</i>	3	11

(*) Reverse-Engineering Riboswitches
(**) Tempting Targets

صنعية لضبط فاعلية الجينات داخل الخلايا الحية: في مجال المعالجة الجينية مثلا وتمثل الهدف بتصميم محول تشغيل/إيقاف on-off switch يُستثار عن طريق جزيء حميد شبيه بالعقار ثم يدمج المحول داخل جينة علاجية وعندئذ يمكن غرز هذا البناء الجيني في خلايا المريض: كما يمكن تنظيم فعله بأن يُعطى الشخص المعالج حبات دوائية تحتوي على الجزيء الذي يُفعل المحول الريبي المصمم وكما هي الحال في تطبيقات المضادات الحيوية، فإن هذا الاستعمال للمحولات الريبية لا يزال في مراحل البحث المبكرة

إن الشعور العام المتمثل بالمفاجأة والاثارة - والذي استلهم من اكتشاف الريبوزيمات، والجهود المبذولة للإفادة من هذه الجزيئات القديمة في تطبيقات حديثة - قد يجدد الوجود الفعلي للمحولات الريبية فهناك فقط كسر وقطع من عالم الرنا المنسي تبدو موجودة بين ظهرانيها. ولكن هذه الأدوات الرناوية بالياتها المعقدة وادوارها التنظيمية تشبثت بالحياة تشبثا عنيدا كي تستمر في الكائنات الحية المعاصرة ولا يسعنا إلا أن نسأل عما إذا كانت المحولات الريبية هي آخر آثار عالم الرنا التي تصادف اكتشافها، أم إن هناك جزيئات أولية أخرى لا تزال تستعملها مصانع المستقلبات. أو الأدوار التنفيذية للخلايا الحديثة - ربما أيضا في خلايانا البشرية ذاتها - وتنتظر من يكتشفها. ■

معروف يعمل مضادا فطريا. ويربط إليه في الوقت نفسه المحول الريبي للفيتامين B₁ وتفتتح الأدلة أن هذا الارتباط يحدد القطر كي يعتقد أن لديه ما يكفي من الفيتامين B₁ وهذا يتسبب في وقف تركيب المزيد منه. ولأن الفطر لا يمتلك فعلا هذه المغذية المهمة، فإن نموه يتباطأ، ويمكن أخيرا أن يموت نتيجة غوز هذا الفيتامين. وكما بوضوح هذا المثال، فإن المحولات الريبية تعمل كمُنظمات حيوية لإمدادات من المغذيات الحاسمة الخاصة بطيف واسع من الميكروبات التي تصنع أيضا أهدافا مغرية لمضادات حيوية جديدة.

هناك فقط كسر وقطع صغيرة من عالم الرنا المنسي تبدو اليوم موجودة بين ظهرانيها.

ويعرف حاليا أكثر من دزينة من المُمرضات البشرية التي تعتمد على تنظيم المحولات الريبية لكثير من المستقلبات المهمة (انظر المظهر في الصفحة المقابلة) ويجتهد كثير من الباحثين كي يعثروا على جزيئات تخدع أيتاميرات المحولات الريبية البكتيرية: لتحسبها عن طريق الخطأ مستقلبات طبيعية، فتستثير بهذه الطريقة استجابة تنظيمية جينية ستكون ضارة بالخلايا البكتيرية وتستكشف أيضا بعض المجموعات البحثية الفكرة وراء استعمال محولات ريبية

فقد تعرفنا في جينوم العصوية الرقيقة وحدها ثمانية تسلسلات جديدة تحمل مواقع المحولات الريبية. وكان واحد منها يحمل أيتاميرا مزدوجا: يعمل على تشغيل التعبير الجيني أكثر من عمله على إيقافه. كما ثبت أن بنية أخرى لا تعمل كمحول ريبى فحسب: بل أيضا كريبوزيم تستثيره المستقلبات، وعوضا عن أن يبادر هذا الجزيء إلى إعادة ترتيب شاكلته بنيويا، فإن برنامج تعبيره الجيني يشطر في الجوهر نفسه ذاتيا، ويلتف نفسه بنفسه قبل أن تتم ترجمة رسالته. إن صفا واحدا فقط من صفوف المحولات

الريبية التي اكتشفت حتى الآن لوحظ في الكائنات الحية العديدة الخلايا: أما الصفوف الباقية، بحسب علمنا، فقد عُثر عليها في البكتريات فقط. إن لجينومات الكائنات الحية الأعلى وسائل تنظيم جيني أكثر تعقيدا من البكتريات: كما أن المسلك من النسخة الأصلية (الجينة) إلى البروتين أكثر التواء. وعوضا عن نسخ ضوئية أنيقة من الرنا المرسال فإن نسخ السودات الأولى للجينات غالبا ما تشمل فقرات (تسلسلات) طويلة من المتز غير المكور، تعرف بالإنترونات introns، يجب إزالتها بالتجديد spliced out قبل أن تبدأ ترجمة الرسالة إلى بروتين. لقد عثرنا على محول ريبى في قاع حجرة تنقيح متن الرسالة

يُصادف أيتامير تميم الإنزيم B₁ في تسلسلات الإنترونات ضمن أويبرونات تركيب التيامين في الكثير من الفطور والنباتات: بما في ذلك الأرض. وعندما يترابط الفيتامين B₁، فإن هذه المحولات الريبية تبدو وكأنها تسبب إعادة تنظيم بنية الرنا حول وصلات (مواصل) الإنترونات فتمنع التجديد من البدء (الإنجاز). ولما كانت تفاصيل هذه السيورة غير واضحة: فإن ذلك قد يحول الرسالة برمتها إلى سلة المهملات أو يمنعها من الارتحال إلى المكان الصحيح في الخلية حيث تتم ترجمتها. ومما يؤثر الاهتمام أنه عثر على عقار

المؤلفان

J. E. Barrick - R. R. Breaker

بحثا عما في تنوع وأهمية المحولات الريبية وذلك في مخبر جريكر بجامعة ييل. جاريكر حاليا زميل لما بعد الدكتوراه في جامعة ميشيغان، حيث يدرس تطور البكتريات. إضافة إلى برامج الحاسوب الداتية التضاعف (التنسخ) وتستمر مجموعة «جريكر» في استكشاف طبيعة الحموض النووية واستعمالاتها، وجزيئا يانشاء عناصر ضبط جيني مصمم مصنوعة من الرنا، وكذلك تطوير مضادات حيوية لاستهداف محولات ريبية طبيعية

مراجع للاستزادة

The Origin of Life on the Earth. Leslie E. Orgel in *Scientific American*, Vol. 271, No. 4, pages 52-59: October 1994.

Thiamine Derivatives Bind Messenger RNAs Directly to Regulate Bacterial Gene Expression. Wade Winkler, Ali Nahvi and Ronald R. Breaker in *Nature*, Vol. 419, pages 952-956, October 31, 2002.

Metabolite-Binding RNA Domains Are Present in the Genes of Eukaryotes. Narasimhan Sudarsan, Jeffrey E. Barrick and Ronald R. Breaker in *RNA*, Vol. 9, No. 6, pages 644-647; June 2003.

Riboswitches as Antibacterial Drug Targets. Kenneth F. Blount and Ronald R. Breaker in *Nature Biotechnology* (in press).

Scientific American, January 2007

طرق أفضل لاستهداف الألم

حاز «B. سامويلسون» جائزة نوبل في الفيزيولوجيا أو الطب عام 1982، وذلك عن أبحاثه في تقديم صورة دقيقة عن الكيفية التي يولد بها الجسم البروستاغلندينات prostaglandins. وهذه المواد الشبيهة بالهرمونات تؤدي دوراً في تنظيم عدد من السيروتونات البيولوجية، بما في ذلك التحريض على الألم والحرارة والالتهاب. ومن المعروف أن هذه السيروتونات تثبّط من قبل الأسبرين والايبيروغن والأدوية المشابهة لهما. وقد أجرى «سامويلسون» أبحاثه هذه، بالتعاون مع «S. برغستروم» [وهو شريك في جائزة نوبل للعام نفسه (1982)]، في حرم معهد كارولنسكا المعروف بأجره الأحمر في السويد، وهذا المعهد يقوم أيضاً باختيار الفائز بجائزة نوبل السنوية في الطب.

إن لمعهد كارولنسكا تاريخاً طويلاً مع البروستاغلندينات، يعود إلى عام 1935 عندما اكتُشفت مشتقات هذه الأحماض الدهنية، ويمتد إلى يومنا الحاضر. لقد قام «سامويلسون» ومساعدوه في السنوات الأخيرة بأبحاث أكثر تفصيلاً عن التركيبة البيوكيميائية للبروستاغلندين تُستغل حالياً في محاولة لتطوير أدوية قاتلة للألم ومضادة للالتهاب أكثر أماناً من المواد المتوافرة حالياً، بما في ذلك المجموعة التي تشوّهت سمعتها حديثاً والمعروفة بالمثبطات COX-2 ويُعلّق على ذلك «سامويلسون» قائلاً: «هناك طلب هائل على الأدوية المضادة للالتهاب، وإذا تمكنا من تطوير دواء له نفس فعالية العقاقير السابقة، لكن مع تأثيرات جانبية أقل، فإن هذا الأمر يغدو من الأهمية بمكان».

الشجرة والفروع^(*)

في البيان الصحفي الصادر عن معهد كارولنسكا عام 1982 تم الثناء على حصول «سامويلسون» على جائزة نوبل، واعترف بفضل هذا العالم في المعرفة المتوافرة حالياً عن شجرة البروستاغلندين بجميع فروعها. «لقد بين «سامويلسون» أنه يتم تصنيع البروستاغلندين عندما يعالج أحد الأحماض الدهنية (الحمض الأراكيدوني arachidonic acid) المتواجد في غشاء الخلية بالإنزيمات وفق سلسلة من التفاعلات (انظر المظهر في الصفحة 56). وتُفسّر هذه التفاعلات في النهاية عن مركبات تؤمن أعمالاً تنظيمية مختلفة داخل



إن تعميق فهمنا للطرق الكيميائية التي يعمل بها كل من الأسبرين والقيوكس، قد يؤدي إلى إنتاج أدوية لتسكين الألم ذات مضاعفات جانبيهة أقل.

«G. ستيكس»



أنه يخفّض كذلك من
تصنيع البروستاسايكلين⁽¹⁾
PGI₂، وهو بروتستكلنديين واق
للقلب يقوم بتوسيع الأوعية
الدموية ويمنع الصفائح من
التكس (أي إنه يقاوم التخثر). وهذا
التخفيض قد يتسبب في نتائج خطيرة.

في عام 1999، ذكر «G. فيتزجيرالد» [من المركز الطبي
بجامعة بنسلفانيا] في تقرير له نشر في «وقائع جلسات الأكاديمية
الوطنية للعلوم بالولايات المتحدة الأمريكية» عن تجربة سريرية
صغيرة أوضحت ظاهرة تثبيط PGI₂، وبين «فيتزجيرالد» كذلك أنه
عندما ينقص PGI₂ بعد تناول مثبط الإنزيم COX-2، فإن
الثرموبوكسان thromboxane، وهو نوع آخر من البروستكلنديين يتم
إنتاجه في أوعية الحمض الأراكيدوني، يبقى فعالاً ويحث على انقباض
الأوعية وتكتل الصفائح - الأمر الذي عادة ما يعاكسه PGI₂.
وأوضح التقرير أن عدم التوازن هذا قد يشجع على تشكل
الخثرات thrombosis التي قد تؤدي إلى الهجمات القلبية
والسكتات - وهو استنتاج المحامين في دعاوى قضائية ذاعت
أخبارها وقد أثبتت في السنوات الأخيرة ضد مصنعي الأدوية

(1) سترمز فيما يلي للبروستكلنديين E₂ بالرمز PGE₂ وسترمز
للبروستاسايكلين بالرمز PGI₂.

الجسم، فتضمن على سبيل المثال، أن الكليتين تحصلان على
تدفق كاف من الدم، أو تنظم تقلصات الرحم أثناء الولادة
والحيض، أو تقدح زناد عملية الالتهاب (الذي يستدل عليه
بالاحمرار والتورم) كارتكاس لحماية النسيج من الخمج أو الأذى.
يقوم الأسبرين، والأدوية الأخرى المضادة للالتهاب غير
الستيرويدية كالايبوبروفن، بإيقاف مفعول الإنزيمين
الذين يعملان في أولى مراحل تشكيل البروستكلنديين:
سيكلوأكسجيناز 1 و 2 (COX-1 و COX-2). وهكذا يتوقف
إنتاج جميع مشتقات البروستكلنديين بكبح الإنزيمات COX.
إلا أن الأسبرين وأقربائه relatives تسبب أحياناً مشكلات
خاصة بها نتيجة لهذا الكبح الشديد. فعندما يقوم الأسبرين بتثبيط
إنتاج البروستكلنديين المسؤول عن الالتهاب، فإنه يقوم في الوقت
ناته بتثبيط عمل واحد أو أكثر من مشتقات الحمض الأراكيدوني
التي تحمي بطانة المعدة من حمض كلور الماء الموجود في
العصارات الهضمية. وفي عام 1990 قامت شركات الأدوية بإجراء
تصحيحي عندما أنتجت الدواوين فيوكس Vioxx وسليبركس
Celebrex وأدوية أخرى تقوم بشكل خاص بحجب الإنزيم COX-2،
بحيث تُترك سليمة بعض البروستكلنديينات الخاصة بحماية المعدة
والتي تُفرز استجابة لفعالية الإنزيم COX-1.

إلا أنه اتضح أن إعاقه الإنزيم COX-2 لها عواقبها الخاصة
به. فهذا التعطيل على ما يظهر يوقع الفوضى في سلسلة من
التفاعلات المعقدة بين البروستكلنديينات. فمع أن إيقاف عمل
الإنزيم هذا ينقص من تصنيع البروستكلنديين E₂ (PGE₂)⁽¹⁾
الذي يعتقد أن له دوراً رئيسياً في تحفيز الألم والالتهاب، إلا

كيف يعمل الأسبرين

يقوم الأسبرين والأدوية الستيرويدية المضادة للالتهاب بإعاقة عمل كل من الإنزيمات COX-1 و COX-2، مما يثبط إنتاج كافة أنواع البروستاغلندين، بما في ذلك المفيدة منها.

كيف تعمل مثبطات

الإنزيم COX-2

بسبب الإنزيم COX-2 الألم والالتهاب عن طريق رفع مستويات البروستاغلندين PGE₂ عبر طرق تشمل إنزيمًا يدعى mPGES-1 وبإعاقة الإنزيم COX-2 بواسطة أحد الأدوية (فيوكس Vioxx أو سيليبريكس Celebrex أو بيكسترا Bextra أو غيرها من المثبطات)، توقف هذا الارتفاع في مستوى PGE₂. ويبقى تهديد هذه الأدوية بأن يضر المعدة قليلاً، لأن من المفروض أن يبقى PGE₂ يُصنع بكميات عادية بتوجيه من الإنزيم COX-1 وإنزيم آخر يدعى cPGES. إلا أن مثبطات الإنزيم COX-2، تقلل أيضاً من مستوى البروستاغلندين PGI₂ الذي يحمي الجهاز الهضمي. وهذا التدني قد يفسر ارتفاع نسبة حوادث الهجمات القلبية والسكتات لدى أولئك الذين يتناولون هذه الأدوية.

كيف تعمل مثبطات

الإنزيم mPGES-1

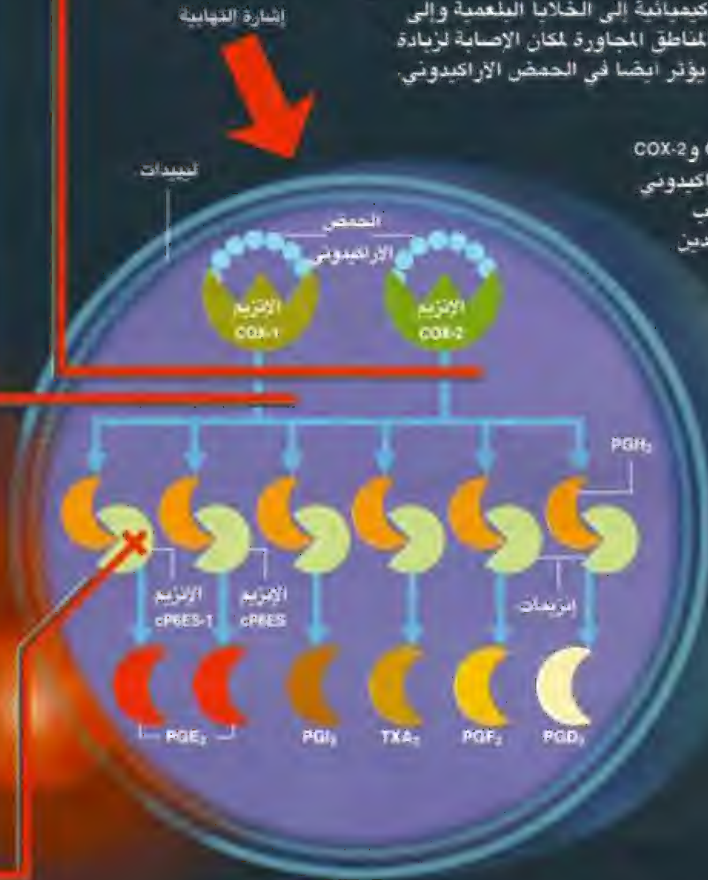
هذه الوسائط التي ما تزال قيد التطوير، تعيق عمل mPGES-1 بشكل خاص، وهو الإنزيم الذي ينتج بكميات كبيرة بإيعاز من الإنزيم COX-2 في الخلايا التي ترتكس لأذى الالتهاب. وقد يفيد إنقاص الإنزيم mPGES-1 لوجوده دون الإنزيمات المسؤولة عن تصنيع كميات طبيعية من البروستاغلندينات، في التحكم بمستويات PGE₂ في الجسم، وبذلك يؤدي إنقاص هذا الإنزيم إلى التخلص من الألم دون إلحاق أذى بالقلب وجهاز الهضم.

إن أحد مسببات الألم والالتهاب والحرارة في الجسم هو إنتاج كميات كبيرة من جزيء يدعى بروستاكلين E₂ (PGE₂) (الخطوات 3-1 في الشكل) من قبل خلايا الالتهاب. يعمل الأسبرين Aspirin والفيوكس Vioxx وأنواع أخرى من الأدوية القائلة للألم على تثبيط الإنزيمات التي تحفز تصنيع البروستاكلين (المُطَوَّران في الأعلى). ولكن بعض أنواع البروستاكلينات والمواد الأخرى التي تنتجها هذه الإنزيمات هي مواد مفيدة، ويؤدي توقف إنتاجها إلى مضاعفات جانبية. ولهذا فإن العاملين على تطوير الأدوية يدرسون وسائط جديدة، مثل مثبطات الإنزيم mPGES-1، التي تعيق فقط تركيب كميات زائدة من الإنزيم PGE₂. وبذلك تسمح بتصنيع المواد المفيدة (المُطَوَّر السفلي).

1 وتقوم معظم الخلايا بشكل روتيني بتصنيع البروستاكلين من خلال تفاعلات تبدأ بإنزيم يدعى COX-1 ويعمل على الحمض الأراكيدوني Arachidonic acid. فعندما يتعرض أحد النسيج لأذية حادة، تعطى إشارة كيميائية إلى الخلايا البلعمية وإلى خلايا التهابية أخرى في المناطق المجاورة لمكان الإصابة لزيادة نشاط الإنزيم COX-2 الذي يؤثر أيضاً في الحمض الأراكيدوني.

2 يقوم الإنزيمان COX-1 و COX-2 بتحويل الحمض الأراكيدوني في تفاعل مرحلي إلى مركب كيميائي وهو البروستاكلين E₂ (PGE₂).

3 عقب ذلك، تقوم إنزيمات إضافية بتحويل البروستاكلين PGE₂ إلى بروستاكلينات أخرى وإلى قروميوكسان، بحيث يكون لكل منها وظيفة خاصة بها (السفل الشكل). وفي النهاية تنطلق جميع البروستاكلينات - بما في ذلك PGE₂ - الذي يفتح الألم - لتؤثر في الخلايا الأخرى.



البروستاكلينات وتأثيراتها المختلفة

البروستاكلين D ₂ (PGD ₂)	له تأثير في تنظيم النوم والارتكاسات التحسسية.
البروستاكلين E ₂ (PGE ₂)	يقوم بضبط تقلصات الرحم أثناء المخاض والحيض.
القروميوكسان A ₂ (TXA ₂)	يجرح أنقباض الأوعية الدموية ويحث الصفائح على الارتكاس (التخثر).
البروستاكلين A ₂ (PGA ₂)	يوسع الأوعية الدموية وينشط ارتكاس الصفائح (التخثر)، وقد يحمي من تصلب العسدي ومن أذية بطانة المعدة.
البروستاكلين E ₂ (PGE ₂)	له علاقة بالألم والالتهاب والحرارة. ويحمي من أذية المعدة.

نشرت مقالة في مجلة «الاتجاهات الجديدة في العلوم الدوائية»¹ عنوانها: «هل الإنزيم mPGES-1 هدف واعد في علاج الألم». وقد أثارت إشكالية ما إذا كانت سيرورات الاستقلاب (الأيض) المعقدة للبروستاكلاندين ستحبط مساعي الوصول إلى دواء جديد ووردت في المقالة ملاحظة أن تثبيط الإنزيم mPGES-1 قد يخفف من إنتاج PGE₂، ولكنه قد يؤدي إلى إنتاج أعلى من نوع آخر من البروستاكلاندين، مع حدوث نتائج فيزيولوجية غير معروفة ثم إن معظم أنواع البروستاكلاندين الأخرى، وليس فقط PGE₂، تؤدي بعض الدور في إثارة الألم.

والتجارب السريرية الخاصة بتقدير درجة الأمان والفعالية على الجنس البشري هي وحدها القادرة على حل أي خلاف حول هذه المسألة لكن الدراسات الأولية على الفئران التي أُزيل من أجسادها الإنزيم mPGES-1 تعطي بعض الأمل. وقد ذكر في أحد التقارير الصادرة عن مجموعة «فيتزجيرالد» لعام 2006 أن الفئران التي تُزَع منها الإنزيم mPGES-1 زادت فيها مستويات PGI₂ المريحة للقلب، فيما ظل ثابتا مستوى الثرومبوكسان thromboxane الضار، وفي الوقت نفسه، بقيت قدرة الدم على التخثر وضغط الدم طبيعيتين وأوضحت دراسة لاحقة قام بها فريق «فيتزجيرالد» أن حذف الإنزيم mPGES-1 قدم عددا من الفوائد الوعائية القلبية، ربما بسبب تنشيط PGI₂.

وتستمر التجارب للحصول على مركبات تكرر تأثير إخماد الإنزيم mPGES-1 وقد بدأت الاستعدادات للقيام بالخطوة الحساسة التالية، وهي الانتقال من التجارب على الفئران إلى الإنسان.

Unleashing Inhibitors
microsomal prostaglandin E synthase
Trends in Pharmacological Sciences

وقد عُيِّن «سامولسن» مستشارا علميا وعضوا في مجلس إدارة هذه الشركة. وعقدت الشركة بوهرينجر إنكلهيم Boehringer Ingelheim، التي تُصنِّع دواء موبيك Mobic المثبط للإنزيم COX-2، اتفاقية مع الشركة بيوليپوكس عام 2005 لتمويل الأبحاث المتعلقة بالإنزيم mPGES-1. ومن ثم الترخيص للمثبطات الجديدة من حيث التطوير النهائي والتسويق.

والسوق الأمريكي، الذي يستوعب سنويا ما يتوف ثمنه على العشرة بلايين دولار من الأدوية القاتلة للألم غير المخدرة، متحدا مع فادحة الإنزيم COX-2، جعل شركات أخرى توجّه اهتماما كبيرا للإنزيم. فقد نشرت الشركة صبرك دراسة عن مثبطات الإنزيم mPGES-1، وتقدمت الشركة فايزر pfizer بطلب براءة اختراع لغاز سُحبت منه الجينة المسؤولة عن عمل الإنزيم mPGES-1. الأمر الذي يساعد على فحص تأثيرات تثبيط هذا الإنزيم. كما تقدمت شركات أدوية كبيرة للحصول على براءات اختراع متعلقة بالإنزيم mPGES-1 ويعلق «فيتزجيرالد» على كل هذا قائلا: «إن صفائح الأرض تستخرج. فهناك اليوم سوق هائل لأدوية جديدة بسبب عدم الضمانة التي تتصف بها الأدوية المتوافرة حاليا». وأضاف قائلا: «إن إحدى الشركات، التي لا يمكنني الكشف عن اسمها، تخطط للقيام في عام 2007 بتجارب بشرية سريرية خاصة بـ تثبيط الإنزيم mPGES-1 (وبشكل مستقل، تحاول شركات مصنعة أخرى تطوير أدوية تتحد مع مستقبلات PGE₂ وتقوم مباشرة بإعاقة عملها).

إن المحن التي تعرض لها الدواء فيوكس قد تعيق الإسراع في تقديم أي دواء جديد مضاد للالتهاب إلى الأسواق، وفي الواقع، قام المشككون برفع أصواتهم ففي عام 2006

المُثبِّطة للإنزيم COX-2. وقد بدأ «فيتزجيرالد» بتقديم تقارير عن اكتشافاته في المؤتمرات عام 1997، أي قبل سنة من الموافقة على أول مثبط الإنزيم COX-2، وهو الدواء سيليبريكس Celebrex.

وعندما كانت مجموعة «فيتزجيرالد» تكشف عن إشارات التحذير الأولية بالأخطار المشار إليها، كانت مجموعة «سامولسن» للأبحاث تجهد «لوضع ورقة جديدة» على أحد فروع شجرة البروستاكلاندين فقد تزعم أحد الزملاء المتخرجين في مختبر «سامولسن»، ويدعى «J. P. جاكوبسون»، مشروعا اكتشف من خلاله النسخة البشرية للإنزيم الذي ينتج PGE₂ وانتهى ملخص البحث الذي نُشر عام 1999 والذي شارك فيه «جاكوبسون» و «سامولسن» وباحثون آخرون بعبارة مشجعة تقول إن الإنزيم المكتشف «هو هدف جديد ممكن لتطوير الأدوية».

وقد استرعت هاتان المقاتلتان انتباه عالمين من معهد كارولينسكا كانا قد أنشأ شركة صغيرة اسمياها بيوليپوكس Biolipox وكانت هذه الشركة قد فتحت أبوابها في عام 2000 لتطوير أدوية مضادة للالتهاب في أمراض التنفس عن طريق معالجة صنف من المركبات البيوكيميائية (الكيميائية الحيوية) اكتشفت حديثا تدعى إيوكسينات coxins، وهي مشتقة أيضا من الحمض الأراكيدوني. وقررت الشركة بعد سنة أن تنوع منتجاتها، فحصلت من معهد كارولينسكا على رخصة الحماية الفكرية للإنزيم المسمى الإنزيم التركيبي للبروستاكلاندين F الجسدي الميكروي² (mPGES-1). هذا وإن أي دواء يعيق انتقائيا تصنيع الإنزيم mPGES-1، يمكن أن يوقف الألم والالتهاب من دون تأثيرات جانبية هضمية أو قلبية وعائية، لأنه لن يخفف من مستويات PGI₂. وتقول «Ch. إيدنوس» [المسؤولة العلمية الرئيسية في الشركة بيوليپوكس]: «لقد أدركنا أنه من الممكن أن يكون هذا مفيدا كجيل ثالث من مضادات الالتهاب اللاستيرويدية».

تحرير المثبطات³

تقع الشركة بيوليپوكس اليوم في بنا غير مميز يحتوي أيضا على المكتبة العلمية وقسم المعلوماتية البيولوجية والاقتصاد التدريسية التابعة لحرم معهد كارولينسكا

مراجع للاستزادة

Identification of Human Prostaglandin E Synthase: A Microsomal, Glutathione-Dependent, Inducible Enzyme, Constituting a Potential Novel Drug Target. Per-Johan Jakobsson, Staffan Thoren, Ralf Morgenstern and Bengt Samuelsson in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, Vol. 96, No. 13, pages 7220-7225; June 22, 1999.

Is mPGES-1 a Promising Target for Pain Therapy? Klaus Scholich and Gerd Geisslinger in *Trends in Pharmacological Sciences*, Vol. 27, No. 8, pages 399-401; August 2006.

Deletion of Microsomal Prostaglandin E Synthase-1 Augments Prostacyclin and Retards Atherogenesis. Miao Wang, Alicia M. Zukas, Yiqun Hui, Emanuela Ricciotti, Ellen Puré and Garret A. FitzGerald in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, Vol. 103, No. 39, pages 14507-14512; September 26, 2006.

Scientific American, January 2007

الأفلام السينمائية في عيوننا^(*)

تعالج الشبكية معلومات تفوق كثيراً ما تخيله أي شخص على الإطلاق، بحيث تُرسل ستة أفلام سينمائية مختلفة إلى الدماغ.

<F> ويريلين - روسكا

كثيراً ما نأخذ قابلياتنا الإبصارية المذهلة كأمر مسلم به، بحيث لا يتوقف إلا قليل منا متفكراً في الكيفية التي نحقق بها الرؤية فعلياً. ولعدة قرون. ربط العلماء بين آلة المعالجة الإبصارية وآلة التصوير التلفزيونية؛ إذ تركز عدسة العين الضوء الداخل على **صفيفاً**⁽¹⁾ من المستقبلات الضوئية في الشبكية. وتحول هذه المكاشيف الضوئية تلك الفوتونات بطريقة سحرية إلى إشارات كهربائية، يجري إرسالها على طول العصب البصري إلى الدماغ لمعالجتها. ولكن التجارب الحديثة التي أجريناها نحن الاثنين وغيرنا، تشير إلى أن هذه المضاهاة الوظيفية غير كافية. فالشبكية تقوم في الواقع بإجراء كم هائل من سيرورات المعالجة في داخل العين مباشرة، ومن ثم تُرسل سلسلة من **العروض** representation الجزئية إلى الدماغ لتفسيرها.

تحمل بعض المسارات الأخرى معلومات حول الظلال والإنارات. هذا ولا يزال من الصعب تصنيف بعض العروض الأخرى في أبواب تخصصها.

يتم نقل كل مسار بواسطة حشد من الألياف تخصه ضمن العصب البصري إلى المراكز العليا في الدماغ، حيث يحدث المزيد من سيرورات المعالجة الأكثر تعقيداً، وللجهاز السمعي البشري كذلك بنيان مماثل، إذ ينقل كل عصب سمعي معلومات تخص مجالاً محدوداً جداً من طبقات الصوت pitches، ثم يقوم الدماغ بعد ذلك بتجميعها معاً. لقد بين الباحثون الذين يدرسون القشرة الإبصارية أن الصفات المختلفة (مثل: الحركة واللون والعمق والشكل) تجري معالجتها في مناطق مختلفة من الدماغ، وأن إصابة منطقة معينة يمكن أن تسبب عجزاً في حس وإدراك وفهم صفة محددة ما. ولكن مقدرة الدماغ على مجرد استكشاف مثل هذه الصفات إنما

لقد توصلنا إلى هذا الاستنتاج المدهش بعد قيامنا باستقصاء شبكيات عيون الأرانب المشابهة بشكل رائع لشبكيات عيون البشر. [وقد أدى عملنا على شبكيات عيون حيوانات السلمندر، وهو نوع من الضفدعيات، إلى نتائج مماثلة]. إن الشبكية فيما يبدو هلالاً بالغ الصغر من مادة دماغية جرى إبعادها إلى محيط الجسم من أجل أن تحظى باتصال مباشر مع العالم الخارجي، ونسأل هنا كيف تُركب الشبكية العروض التي ترسلها؟ وكيف تبدو هذه العروض عندما تصل إلى المراكز الدماغية الإبصارية؟ وكيف تنقل تلك العروض التراث الضخم للعالم الحقيقي؟ وهل تضيي هذه العروض أي معان تساعد الدماغ على تحليل مشهد ما؟ هذه التساؤلات هي مجرد بعض الأسئلة الملحة التي شرع بحثنا في الإجابة عنها.

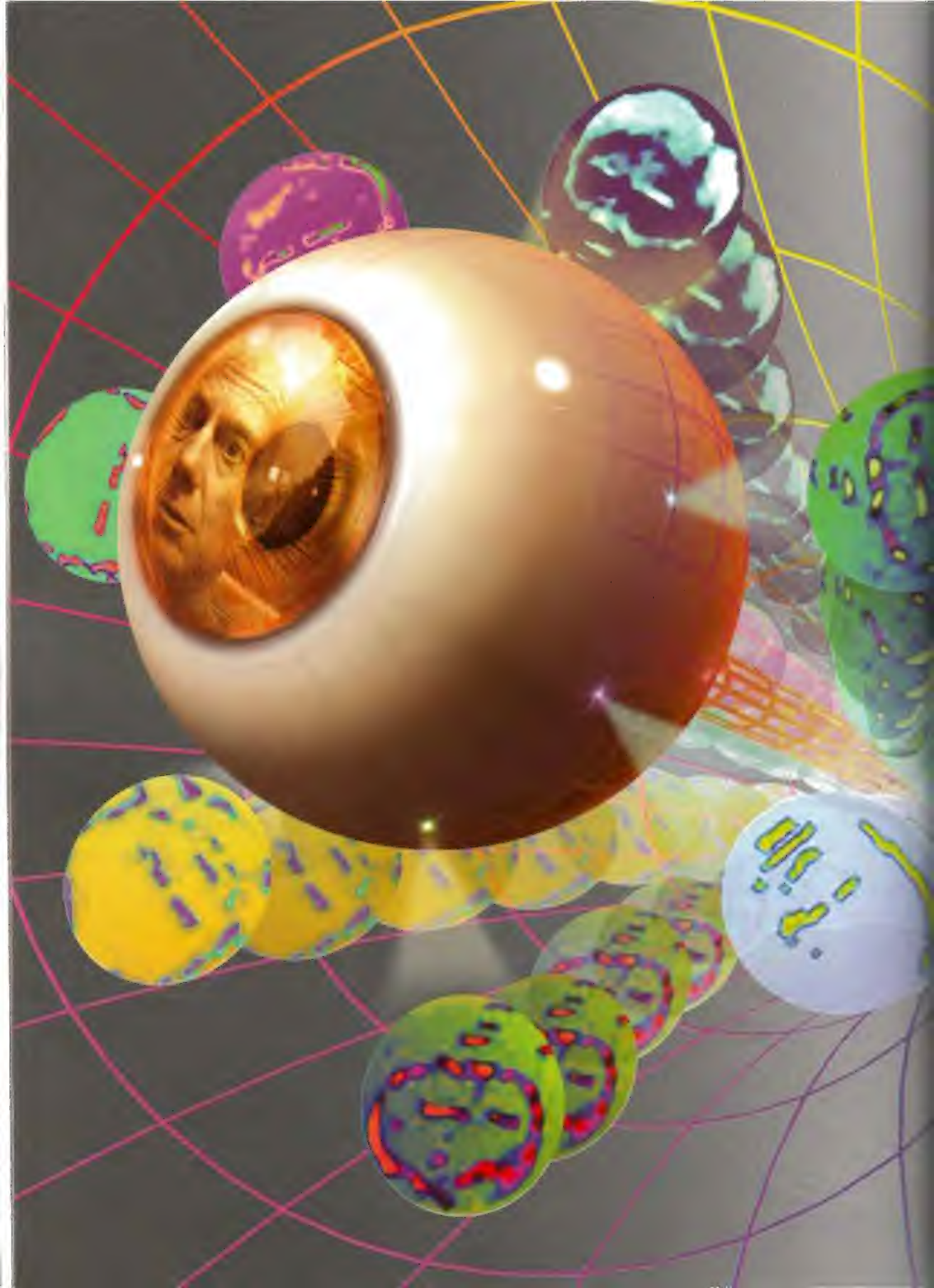
لقد وجدنا أن خلايا عصبية متخصصة (أو عصبونات) قابضة عميقاً داخل شبكية العين، تقوم بإرسال ما يُعتقد بأنه ستة مسارات tracks من أفلام سينمائية (بمعنى مستخلصات متميزة distinct abstractions من العالم المرئي). ويجسد كل مسار بياناً ابتدائياً لأحد جوانب المشهد الذي تواصل الشبكية تحديثه وإرساله إلى الدماغ، فعلى سبيل المثال، ينقل أحد المسارات صورة تشبه الرسم التخطيطي، بحيث لا تحدد إلا حافات الأشياء؛ في حين يستجيب مسار آخر للحركة التي غالباً ما تكون ذات توجيه معين، كما



تشأ في المقام الأول في الأفلام السينمائية الشبكية retinal movies.

تبين الأشكال في الصفحات التالية أفضل تفسيراتنا فيما يخص الكيفية التي تقوم بها الشبكية بابتداع الصور الكهربائية السريالية surreal التي تخبر الدماغ بالمعلومات. وبمتابعة بحثنا سنبدأ بإلقاء بعض الضوء على الكيفية التي أنشئ وفقها كل فيلم من هذه الأفلام السينمائية، ولكننا لا نستطيع بأي حال

THE MOVIES IN OUR EYES (14)
array (11)



ينشأ سلوك الشبكة المذهل من بنيتها المعقدة. لقد أضافت التجارب المضنية التي أجراها الكثير من المتخصصين تفاصيل فيزيولوجية إلى النموذج الكلاسيكي الخاص بالدائرة circuitry الشبكية الذي قصه أول مرة عالم التشريح الإسباني العظيم «R S» كاجال قبل قرن من الزمن، والذي ظل يعاد في مراجع التشريح منذ ذلك الحين إلى اليوم ①. فالشبكة الشفافة تتألف من طبقات من العصبونات مرتبة بشكل بديع ②. وتضم الطبقة الخارجية الأكثر بعداً عن العنسة كلاً من خلايا النابيت (الأعمدة) rods والمخاريط cones التي تمتص الضوء الوارد إلى كليهما وتحوله إلى فعالية عصبونية. وتتصل هذه المستقبلات الضوئية بعشرة أنواع مختلفة من العصبونات تعرف بالخلايا ذات القطبين (ثنائية القطب) bipolar التي ترسل انزعاً طويلة ناقله للإشارات (تسمى محاور) إلى طبقة مركزية «ضفيرة داخلية» inner plexiform. وتبدو هذه العصابة كسلسلة من عشر نضائد (طبقات) strata متميزة متوازية ويوصل محوار كل خلية من أنماط الخلايا ذات القطبين إشاراته إلى قلة من هذه النضائد فقط. وعلى الجانب الداخلي الأقصى من الطبقة الضفيرة ③ يوجد اثنا عشر نمطا مختلفا من الخلايا العقدية ganglion cells (باللون الأرجواني). ويرسل معظم هذه الأنواع امتدادات تشبه الأصابع تسمى تغصنات dendrites إلى داخل نضيدة واحدة منفردة، حيث تستقبل دخل استثنائياً excitatory input من عدد محدود من العصبونات ذات القطبين (باللون الأخضر). وتولد الخلايا العقدية خرج output من كينونات سينماتية ينقلها العصب البصري إلى مناطق الدماغ المختلفة لتفسيرها وتأويلها. هذا وتنفرع بعض التغصنات العقدية تفرعا واسعا النطاق، بحيث تنقل معلومات متناثرة: في حين تنفرع تغصنات أخرى على نطاق أكثر ضيقا، بحيث تنقل معلومات عالية الميز. هذا ويستجيب البعض للتغير المتزايد في معدل ما تطلقه الخلايا ذات القطبين من نواقل عصبية neurotransmitter (الجزئيات الرسالية). في حين يستجيب البعض الآخر للتغير المتناقص في هذا المعدل

sensor صناعي أمام العصب البصري مباشرة، بحيث يقوم مقام الشبكة. لقد تقدم هذا العمل، ولكن لا تزال النتائج فجأة نسبياً، إذ لا تزال المبتوثات transmission تقتصر على ترجمات مبهمة للنماذج الأساسية. لقد بدأت تجارب على البشر في معهد Doheny Eye التابع لجامعة ساذرن كاليفورنيا، وثمة تجارب مماثلة على وشك الانطلاق في كلية الطب بجامعة ولاية واين. صحيح إن الهدف النهائي لهذه المحاولات بعيد المنال على الأرجح، بيد أن نجاحها يكمن أخيراً في تزويد الدماغ بأنماط من النشاط تشبه تلك التي تزود به الشبكة في الأحوال الطبيعية، بما في ذلك اللغة الطبيعية للرؤية. وسوف يمثل التحدي اللاحق في اكتشاف كيفية شبك hook-up كل صفة تجريدية بالأياف مناسبة في العصب البصري.

إن الفهم المفصل للغة الطبيعية للإبصار التي تتكون داخل الشبكة ضروري لصنع الأجهزة البديلة prosthetic الناجعة. وفي الوقت نفسه سوف يساعد هذا الفهم الباحثين على تعلم المزيد عن الكيفية التي تشترك فيها العين والدماغ معاً في الرؤية بوضوح، وكيف يتم خداعهما بصرياً، وكيف يتبعان الأجسام السريعة الحركة، وكيف يعبران الأجزاء الناقصة التي تتضمنها أي صورة معروضة على شاشات التلفاز أو الحاسوب أو سينما السيارات. ونحن نأمل أن يكون وصفنا لقدرة الشبكة على المعالجة التمهيدية هذه خطوة نحو الهدف.

من الأحوال تقديم نموذج كامل، هذا وتحمل الأفلام السينمائية اثنا عشر كافة المعلومات التي سوف يستقبلها الدماغ في أي وقت لتأويل العالم المرئي. ولكننا لا نستطيع حتى الآن أن نقول كيف يتم دمج أنماطها وأشكالها، ربما كانت تلك الأفلام السينمائية تعمل كدالات clues أولية. كنوع من السقالات scaffolding يُشيد عليها الدماغ مضامينه، ولا يختلف هذا المفهوم كثيراً عما يوصف «بعين العقل» mind's eye التي تسبك كلمات رواية ما في حكاية هادفة.

ومع أن عروض الشبكة فيما يبدو تلتقط الحقائق الإبصارية لمشهد ما (كمائدة عشاء أو شلال أو وجه يتحدث) بشكل تام، فإن هناك مكونات أساسية تبدو مفقودة. فلا شيء يتعلق بالمشاعر أو المواقف أو الحكمة أو المبالغة يظهر مائلاً. ربما تكون تلك السمات أصيلة إلى حد ما في مسارات الأفلام السينمائية التي يترجمها الدماغ، أو ربما تكون باستخدامنا شبكات عيون الأرنب قد فشلنا في العثور على جميع العروض التي يمكن أن تلتقطها شبكية العين البشرية - والمتثلة في عروض عالية الميز يمكن أن تستخلص نغوتاً كالمشاعر بطرق مازال علينا أن نكشف عنها النقاب.

ومع ذلك فمن الواضح أن عروض الشبكة retina's representations تشكل لغة إبصارية طبيعية. ويتمتع اليوم فهم هذه اللغة بأهمية خاصة. فثمة مجموعات بحثية على امتداد العالم تحاول إعادة حاسة الإبصار إلى المكفوفين، وذلك عبر إدخال محسّ

نظرة إجمالية/رؤية سريالية¹⁰¹

- إن وظيفة الشبكة أكثر بكثير من مجرد تمرير إشارات بسيطة إلى الدماغ، فمن المثير للدهشة أنها تستخرج دسنة عروض متميزة لأي مشهد مرئي، وذلك على هيئة أفلام سينمائية معقدة ذات ظلال باهتة كالأشباح تولدها أنواع قليلة نسبياً من العصبونات.
- يستخدم الدماغ هذه العروض التجريدية لبناء عالم مرئي دقيق في التفاصيل وغني بالمعاني.
- إن فهم «اللغة البصرية» التي تحملها هذه الأفلام السينمائية سوف يساعد الباحثين الذين يبتدعون أجهزة إحساس بصرية صناعية قد تساعد المكفوفين على الرؤية. وينبغي أيضاً أن تدعم تلك التبعيرات الجهود المبذولة لتحديد الكيفية التي ترى فيها العين والدماغ الأشياء بوضوح.



2 طبقات الشبكية



3 الاتصالات داخل الطبقة الضفيرة



إن دخول inputs التي ترسلها الخلايا ذات القطبين إلى خلايا خروج outputs العقدية ضمن كل تضفية من التضائف لا تكفي لتوليد دسنة العروض السينمائية في جميع الأحوال، ويشار هنا إلى أن الإشارات التي تبثها الخلايا ذات القطبين تحوّلها تشكيلة منوعة من العصبونات الصغيرة تسمى الخلايا القرنية (العديمة الاستقطالات) amacrine (باللون الرمادي) ويزاول بعض هذه الخلايا عمله بشكل عرضاني ضمن إحدى التضائف على نحو يمنع التواصل بين الخلايا العقدية البعيدة في هذه التضفية. كما تثبط عصبونات قرنية أخرى انتقال الإشارات عمودياً بين التضائف، ومن ثم بين الأفلام السينمائية المختلفة - كما لو كانت تبلغ إحدى التضائف ألا تسجل ما تسجله تضفية أخرى. وبهذه الطريقة تلتقط الخلايا

القرنية الإشارات وتبثها من أجل تنسيق المسارات السينمائية. وقد تمكن باحثون أمثال «إ. واسل» [من معهد ماكس بلانك لأبحاث الدماغ بفرانكفورت]، و«Th. يولر» [من معهد ماكس بلانك للأبحاث الطبيعية في هايدلبرج]، و«R. ماسلاند» [من مستشفى ماساشوستس العام] من تحديد 27 نمطا مختلفا من الخلايا القرنية (إلى جانب 10 أنماط من الخلايا ذات القطبين و12 نمطا من الخلايا العقدية).

إن كل ما نراه في حيّز ما نشاهده والزمن يمضي قدما، وحتى تسجيل نقطة سوداء ساكنة ثابتة في حيّز ثلاثي الأبعاد لا لون له إنما يؤلف فيلما سينمائيا مادامت الشبكية تراه بشكل متواصل والزمن يتقدم. صحيح إن خلايا كثيرة من كل نمط من الخلايا العقدية تشغل الشبكية ويقوم طقم من هذه الأنماط بنقل فيلم سينمائي منفرد، ولكن أفلام الخلايا العقدية السينمائية هذه تمثل سيولا مستمرة من الإشارات على عكس أفلام شبك التذاكر التي يُجرى إعدادها صورة فصورة.

إن التفاعلات interactions بين الخلايا ذات القطبين والخلايا القرنية التي تقوم بقراءتها في أن معا كل مجموعة من الخلايا العقدية تؤلف البيانات التي نستقبلها لتأويل العالم الإيصاري. فحينما نقرأ ونمسك بالأشياء ونتعرف الوجوه ونسير هنا وهناك، تسأل التالفات المختلفة لهذه الأفلام السينمائية الدالات الإيصارية الوحيدة التي يتلقاها الدماغ. إنها تشكل لغة إيصارية أصيلة ذات صياغة وقواعد نحوية خاصة بها تشمل مجموع المفردات العصبية لحاسة الإصدار.

أفلام سينمائية في ومضة

تستند توصيفاتنا للنشاط المعقد في الشبكية إلى تجاربنا الخاصة، فنحن نقوم بتسجيل ما يحدث في خلايا عقدية فرادي بواسطة إبرة زجاجية مجوفة بالغة الصغر ويتم بواسطة هذا الممص الميكروي (المجهري) حقن صبغ أصفر اللون ينتشر بسرعة عبر جميع تخصصات أي خلية عقدية منفردة مبينا لنا النضائد التي يصلها ذلك الصباغ. ويعمل هذا الممص أيضا كالكترود يقيس النشاط الكهربائي للخلية، وهذا يعكس توليفة الإشارات الاستثنائية الواردة من الخلايا ذات القطبين والإشارات التثبيطية الواردة من الخلايا المقترنة.

ولنكتسب شعورًا بالأفلام السينمائية التي تسيرها الخلايا العقدية إلى العصب البصري، شرعنا أولاً، بمقابلة البساطة في تسجيل كيف صورت مصفوفة خطية من الخلايا العقدية ومضة مربعة من ضوء جرى تسليطه على شبكية عين أرنب ①. لقد استمرت الومضة

ثانية واحدة واقتصرت على مربع قياس كل جانب من جوانبه 600 ميكرون. وهكذا وقع الوميض على منطقة صغيرة محددة من الشبكية لفترة زمنية معينة

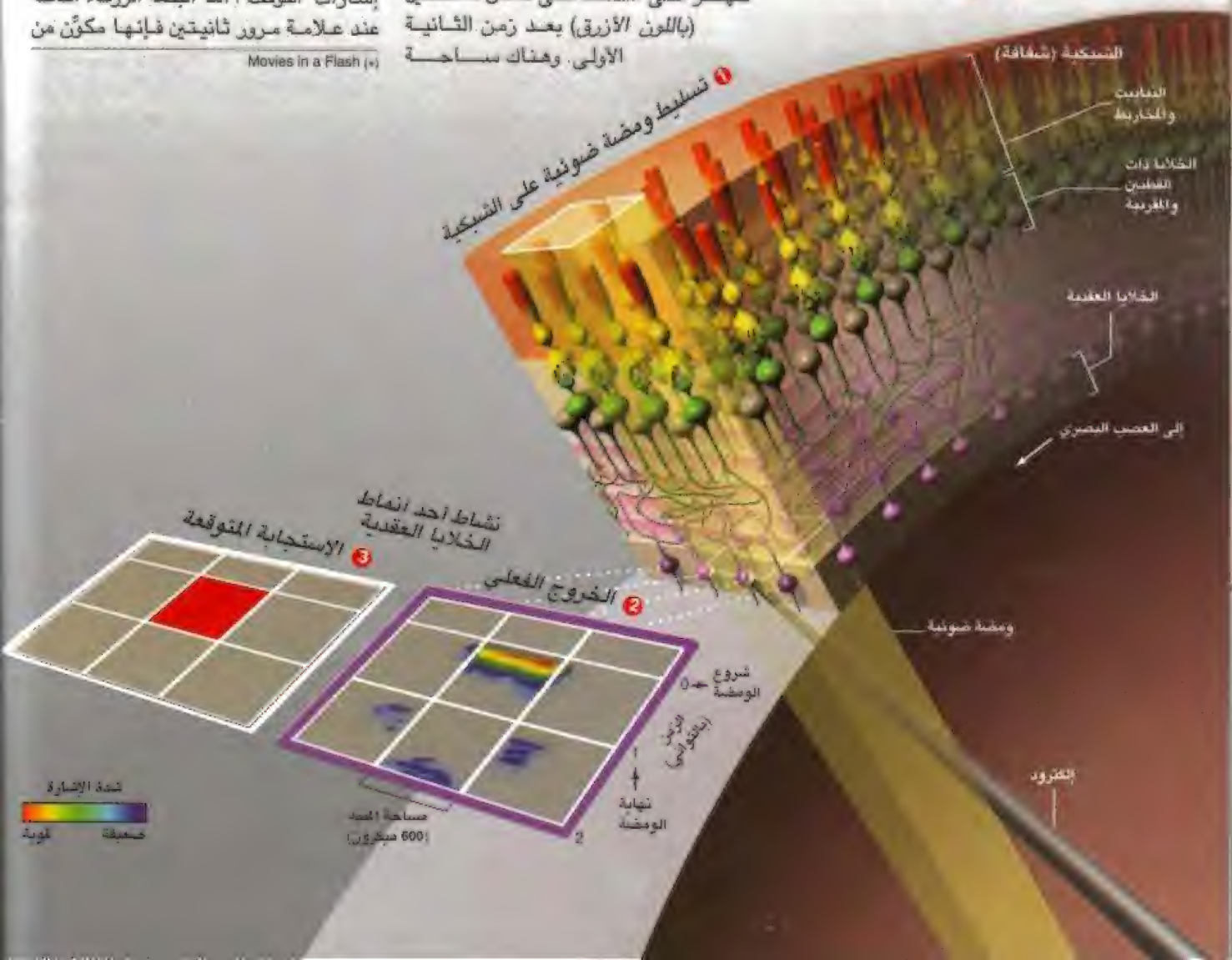
قمنا بتسجيل إشارات الاستثارة والتثبيط التي استقبلها نمط واحد من الخلايا العقدية خلال هذه الفترة وكرّرنا هذا الإجراء على كل نمط من أنماط دسنة الخلايا العقدية. فكان لكل نمط استجابة مميزة، كما تنوع مدى الاستجابات بشكل لاقت للنظر. وفي الشكل أدناه ② يمثل كل مربع ثانية واحدة، ويشير اللون إلى شدة تيار الإشارة في واحد من أنماط الخلايا.

وكان من المثير للاهتمام بالنسبة إلى نمط الخلايا العقدية الموضح هنا أن الخلايا على امتداد عرض الومضة قد استجابت، ولكنها لم تكن ناشطة طوال الفترة الزمنية التي كان الضوء يسطع فيها. وكان من الغريب أن بعض الخلايا خارج امتداد الـ 600 ميكرون قد تنشطت بعد انتهاء الومضة، وهو السلوك الذي ظهر على المخطط على شكل فصوصين (باللون الأزرق) بعد زمن الثانية الأولى. وهناك مساحة

ثالثة داخل منطقة الومضة تنشطت كذلك نشاطا طفيفا بالقرب من العلامة التي تحدد مرور ثانيتين.

كيف لنا أن نفسر هذا النمط من الاستجابة؟ لو ظلت جميع الخلايا ترسل خروج outputs طوال مدة الثانية لكان نموذج الاستجابة «ثيراً» عبر الفسحة span جميعها طوال الثانية بأكملها، بحيث يملأ المربع القابل على لوحنا grid ③ ولكن في الحقيقة تحدث تصفية للخرج. فهو يبلغ في الاتساع عرض الومضة ولكنه يُخضع بانقضاء الوقت بحيث لا يستمر إلا جزءاً من عشرة أعشار الثانية، ولا يبدأ إلا بعد نحو عُشر الثانية من بداية الومضة. لم يكن هناك فقط تأخير طفيف قبل استجابة الخلايا العقدية، بل إن هذه الخلايا استجابت لمدة تكفي فقط لملاحظة كيف تغير الضوء الداخل من مظلم إلى ساطع. وربما يمثل هذا النمط من الخلايا العقدية بدء الإضاءة وليس بقائها المتصل. وربما كان التنشيط الطفيف للخلايا الممثل في الفصوصين النائيين ينقل نوعاً من إشارات «التوقف» أما البقعة الزرقاء الثالثة عند علامة مرور ثانيتين فإنها مكوّن من

Movies in a Flash (v)

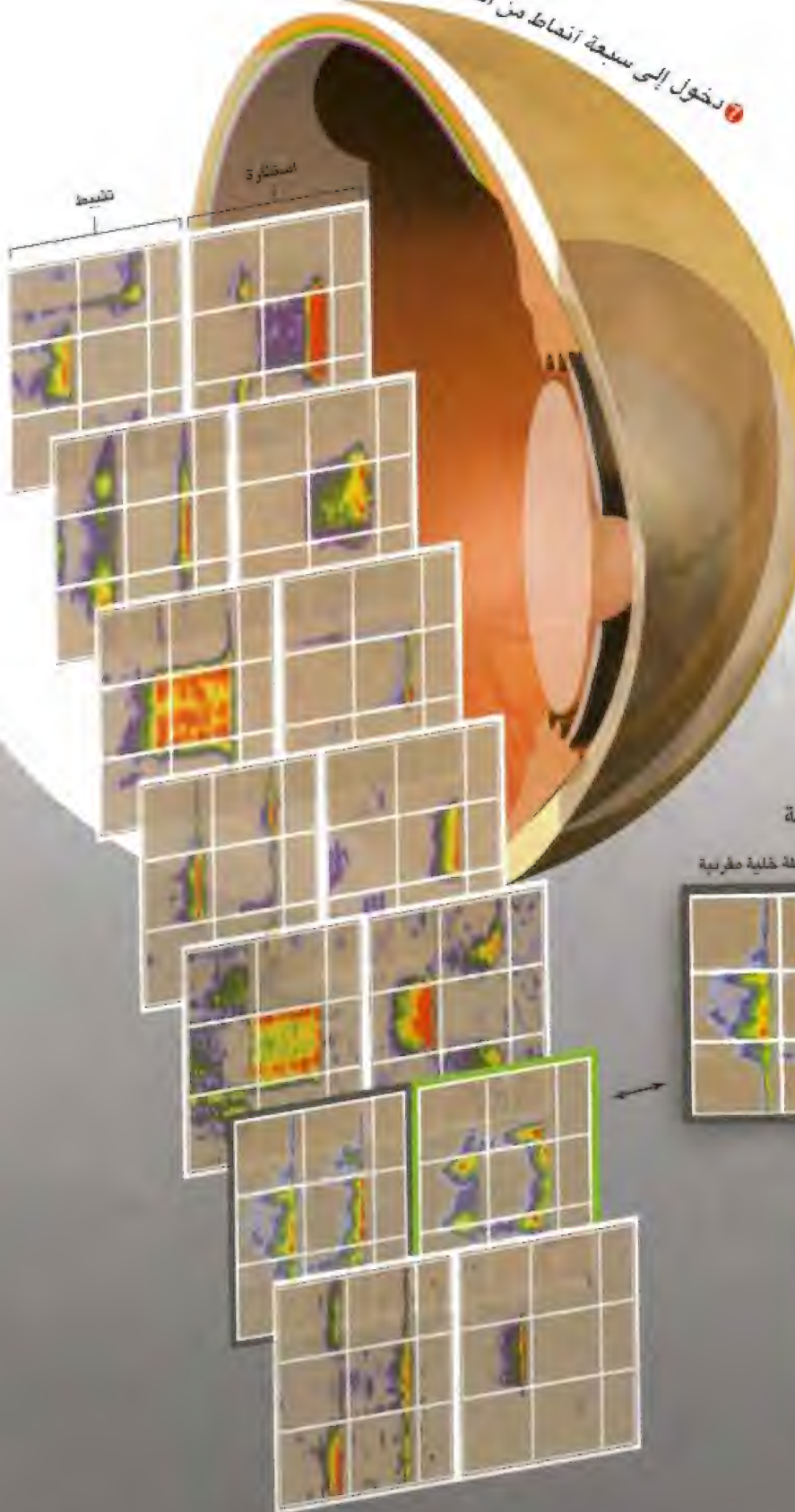


مكوّنات الإشارة لم نفهمه بعد

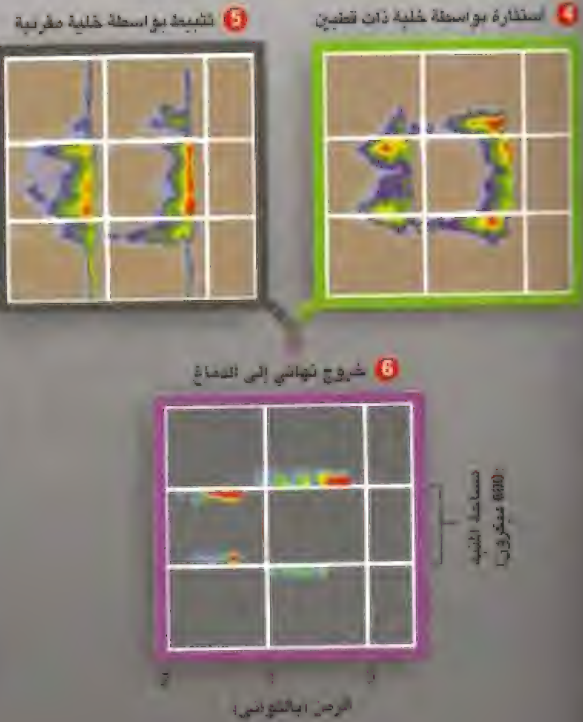
صحيح إن كل مجموعة من ستة الأطقم المختلفة للخلايا العقدية تبتدع قراءة مميزة تتركز على ناحية ما من العالم البصري، ولكن علينا أن نتذكر أن هذا الخرج ينجم عن الاستقارة التي تحدثها الخلايا ذات القطبين والتنشيط الذي تحدثه الخلايا المقرنية. وما النتيجة النهائية إلا النموذج الصافي النهائي المشذب. هذا وتبين المخططات أدناه 4 و 5 و 6 كلا الدخول والخرج النهائي لنمط من الخلايا العقدية يختلف عن النوع الموضح سابقاً.

بهذه الطريقة يرسل كل نمط من الخلايا العقدية تمثيلاً زمكانياً spacetime نهائياً على طول العصب البصري إلى الدماغ. ويكون كل تمثيل مُنتجاً مميزاً ينشأ عن زوج من نماذج الاستجابة الاستثنائية والتثبيطية 7. وترسل أنماط الخلايا العقدية الاثنا عشر مع مرور الزمن اثني عشر من هذه السيول السينمائية إلى الدماغ، (ولم نسجل هنا إلا سبعة من أجل جعل التجربة طيبة). هذا ويحدث تنوع لا يصدق من النشاط عند الاستجابة لمربع وامض بسيط ما.

7 دخول إلى سبعة أنماط من الخلايا العقدية



نشاط نمط ثان من الخلايا العقدية



وجه مصفى

هدفنا، بالطبع، هو معرفة كيف تستخرج كل مجموعة من الخلايا العقدية معنىً من معاني العالم المرئي. ولما كانت الشبكية مصممة لمعالجة معلومات تفوق في الأهمية مجرد ومضة الضوء، فإننا تسألنا ماذا يمكن أن يحدث حينما تشاهد الشبكية مشهداً طبيعياً مثل شخص يتحدث. فما الذي سنظهره عروض كل من الأفلام الاثني عشر⁽¹⁾ وهل يستخرج الفيلم الواحد صفة تغفلها الأفلام الأخرى⁽²⁾؟

وعلى الرغم من الشروح التي تبدو مباشرة ودقيقة عن الكيفية التي فهمنا بها معالجة مربع من الضوء، فإنه يصعب، إلى حد لا يُصدق، سنر شبكية عين أرنب حي فعلياً باستخدام عدد كافٍ من **الإلكترونيات**⁽³⁾ أثناء ومضة بسيطة مدتها ثانية واحدة، باعتبار ذلك أقل بكثير من مشهد طبيعي يدوم دقيقة من الزمن. ومن أجل هذا التمرين الأخير قمنا ببرمجة المعلومات من تجربة الومضة داخل حاسوب يحاكي شريحة **chip** شبكية صناعية شهيرة (هي الشبكية العصبية الخلوية) كان قد طورها «اشوا» [من جامعة كاليفورنيا بيريكلي] و«T. روسكا»⁽⁴⁾ [من الأكاديمية المجرية للعلوم في بودابست]. فقد حولت هذه **المخلوطة** system المربع الوامض إلى اثني عشر نموذجاً زمكانياً من الاستثارة والتثبيط تشبه إلى حد كبير النماذج التي تولدها الشبكية الحية.

وبشيء من الجراءة عرضنا شريحة الشبكية المبرمجة في مشهد طبيعي، إذ جلس أحدنا («ويريلين») أمام الكاميرا وتحدث لمدة

Face Filtered (x)

(1) إلكترون أو مسرى أو قطب كهربائي.

(2) هو والد «B» روسكا» المشارك في تأليف هذه المقالة

عروض مؤتلفة مرسلة إلى الدماغ



تأثير فاسد

الوجه

عروض خلوية عقدية لوجه يتحدث



وانغلاقيهما، وذلك بالاستناد إلى بروز بعض العروض وخفوتها على نحو يجعله يبدو كالشبح. وهذا هو ما يستقبله الدماغ. إن أفلامنا السينمائية ما هي إلا تقريبية، ومع ذلك فهي توضح بشكل لافت أن هذا النسيج العصبي الرقيق (أي الشبكية) في مؤخر العين يقوم بقرء العالم المرئي إلى ستة مكونات متميزة، وتساخر تلك المكونات سليمة ومنفصلة إلى مناطق إبصارية متميزة في الدماغ بعضها واع وبعضها الآخر غير واع. إن التحدي الذي يواجهه علم الأعصاب حالياً هو فهم كيف يفسر الدماغ ويؤزل رزم المعلومات هذه ليولد منظراً متكاملارائياً للواقع.

أن كل واحدة من المصافي تكون حساسة تجاه سمة معينة من سمات المظهر الجسدي للوجه وحركته، وأن كل نمط من أنماط الخلايا العقدية له طريقته المميّزة في رسم صورة العالم. وكذلك أتاح لنا تلوين العروض representation اقتفاء إسهامات كل مجموعة من الخلايا العقدية في البيان المؤلف النهائي المتولد بعد تراكب الأفلام السينمائية. لقد جمعنا الأفلام السينمائية السبعة المناسبة في فيلم سينمائي رئيسي. فأعطت أربع أطر frames مأخوذة من لحظات مختلفة لحديث «ويريلين» الذي دام دقيقة واحدة، ٢ إحساساً بكيفية تحرك وجهه في أثناء انفتاح شفطيه

لا تزيد كثيراً على دقيقة وهنا ولد جهاز المحاكاة الذي قام ببرمجته لهذا التمرين «باليا» [من جامعة بودابست للتقانة والاقتصاد] بياناتاً سينمائية لسبعة من عروض الخلايا العقدية المختلفة ١ ولتأكيد أن محاكاة الشية كان دقيقاً، قمنا بقياس استجابات بضعة عصبونات في شبكية الأرنب الحي إزاء وجه يتحدث وهنا اتضح بسرعة أن كل مجموعة من الخلايا العقدية تعمل كمصفاة filter تستخلص بياناً ميكانيكياً مميّزاً للعالم ويرسله في فيلم سينمائي مميّز إلى الدماغ. وقد قمنا بإضفاء لون على كل من العروض التي ولدها حاسوب بغية تمييز أحدهما من الآخر.

المؤلفان

Frank Werblin - Botond Roska

قاما بكشف النقاب عن كثير مما يخص الدّارية circuitry الوظيفية للشبكية في أوائل التسعينات في جامعة كاليفورنيا بيركلي. ويواصل «ويريلين» عمله هناك أستاذاً في علم الأعصاب، وكان قد نشر في عام 1973 مقالة في سياتنيك أمريكان بعد اكتشافه هو وزميله «د. دولنج» [من جامعة جون هوبكنز] خصائص فيزيولوجية متميزة تنفرد بها عصبونات الشبكية، أما «روسكا» فهو رئيس مجموعة في معهد فريدريش ميشر للأبحاث الطبية البيولوجية في بازل بسويسرا، حيث يعمل على تطوير تقنيات جينية لتحديد المسارات الإيبصارية.

مراجع للاستزادة

Directional Selectivity Is Formed at Multiple Levels by Laterally Offset Inhibition in the Rabbit Retina. Shelley, Fred, Thomas A. Münch and Frank S. Werblin in *Neuron*, Vol. 48, No. 1, pages 117-127, 2005.

Parallel Processing in Retinal Ganglion cells: How Integration of Space-time Patterns of Excitation and Inhibition Form the Spiking Output. Botond Roska, Alyosha Molnar and Frank S. Werblin in *Journal of Neurophysiology*, Vol. 95, pages 3810-3822, 2006.

يمكن رؤية الشريط السينمائي الذي صغته الشبكية لوجه المتحدث على الموقع:

www.sciam.com/ontheweb

sa

Scientific American, April 2007



أربع ألوان



ثلاث ألوان



السيليكون يصدر حزمةً ليزرية^(*)

تمكن العلماء أخيراً من دفع السيليكون لإصدار حزم ليزرية، وخلال
بضع سنوات ستتعامل الحواسيب مع الضوء إضافة إلى الإلكترونيات.

«بهرام جلالى»

إن حزمة الليزر التي تظهر في الصورة (اللون الأحمر والأبيض في العنوان) كانت الأولى التي يصدرها جهاز من السيليكون، وضوؤها تحت الأحمر غير مرئي للعين ولكنه يظهر في الصورة بلون غير حقيقي. يمكن لليزرات السيليكون المتكاملة مع الشبكات الميكروية (الخلفية) أن تجعل الحوسبة بواسطة الضوء القليلة التكلفة أمراً عملياً. أمراً عالياً.

تتضمن ليزرات ومضخمات ضوئية تعتمد حالياً على مواد تصدر إشعاعاً ليزرياً أكثر تكلفة بكثير وأقل شيوعاً من السيليكون.

إن استبدال أسلاك التوصيل النحاسية التقليدية بقنوات ضوئية يمكن أن يرفع حدود سرعة نقل البيانات عدة مراتب لا تستطيع القناة الحالية الوصول إليها. فمثلاً إن سرعة "المودم" السلكي وهو الجهاز العامل في اتصالات الإنترنت المنزلية، محدودة حالياً

تُمكن شبكات السيليكون القليلة التكلفة المهندسين من استثمار سيالات الإلكترونيات لإنجاز وظائف وسيرورات لا تحصى تجعل حواسيبنا وأجهزة الهاتف الخليوي والأجهزة الإلكترونية الأخرى مفيدة للغاية. فإذا تمكنت دارات السيليكون التكاملية بشكل مشابه من توليد حزم الضوء والتحكم فيها، فإنها ستخلق مجالاً من التقانات الجديدة الرخيصة والمناسبة للعديد من التطبيقات الأخرى. ولكن الطبيعة الخاصة للسيليكون أحبطت، لعدة عقود من الزمن، الجهود العتيدة للعلماء لتحويل هذه المادة إلى منبع للضوء المركز الضروري وهناك حالياً مجموعات أبحاث عديدة، بما فيها مجموعتنا، تسعى إلى إنتاج ضوء الليزر من السيليكون. ويمكن أن يكون للنقد في هذا المجال منعكسات هائلة على الأجهزة الإلكترونية التي

MAKING SILICON LASE

تولد فوتونات تنتشر بشكل عشوائي في جميع الاتجاهات. محدثة ضوءاً منتشرًا ذا شدة منخفضة وهذا الضوء، يشبه كثيراً الضوء الوارد من المصباح المتفلقر أما عندما يمر واحد من هذه الفوتونات الصادرة خلال مجموعة إلكترونات في المادة المضيفة تم ضخها سابقاً، فإنه يقدح أو يحث جميع الإلكترونات في أن واحد لتفريغ طاقتها الإضافية. وهذا مفهوم اقترح أول مرة في بحث نشره أينشتاين عام 1917. تسير الفوتونات الناتجة معاً بالاتجاه نفسه بصورة مترافقة، مُشكلة حزمة ضوء عالية التوجيه. وعندما تسير الحزمة خلال ذرات مثارة أخرى في الوسط، فإن فوتوناتها تحث بدورها إصدار فوتونات أكثر بشكل متسلسل. وهذا التأثير مشابه للطريقة التي تنمو فيها كتلة من الجليد عندما تنحدر على سفح جبل مغطى بالثلج.

لم يحظ تنبؤ أينشتاين حول الإصدار المحثوث باهتمام كبير حتى الخمسينيات. عندما بدأ الفيزيائيون يدركون تطبيقاته الممكنة في الأجهزة الضوئية. وفي عام 1958 اقترح <Ch. تاويز> و <A. شافلوف> إحاطة المادة المضخمة للضوء، جزئياً بمرآة تعكس للداخل بعض الفوتونات التي ولدتها المادة. وبينما أن سيروورة الحث من ثم ستغذي نفسها (كما في تفاعل تسلسلي) وهذه الطريقة تصبح، بمجرد أن تكتمل، قادرة على توليد دفق ضوئي قوي ذي طول موجة محدد تماماً - أي حزمة ليزيرية وبعد سنتين فقط، بُنِ <T. ميمان> تجريبياً أول ليزر عملي مصنوع بضخ بلورة ياقوت صوئياً بمصباح قوي.

لقد أثبت السيليكون أنه أقل طواعية بشكل كبير من بلورات الياقوت أو من الأوساط الليزرية التي طُورت فيما بعد ففي أشباه الموصلات - وهي مواد يقع أداؤها الكهربائي في منتصف الطريق بين الموصلات الممتازة كالنحاس والعوازل كالمطاط أو بعض أنواع السيراميك - توجد الإلكترونات في عصابات طاقة. وهي مجالات مستويات طاقة، أو حالات طاقة يمكن للإلكترونات أن تشغلها.

ووفقاً للنظرية الكمومية فإن عصابة الطاقة تصف مجال المستويات التي يكون مسموحاً للإلكترونات باحتلالها، أما المجال المحظور بين العصابات المسموحة فهو مجال من مستويات الطاقة لا يمكن للإلكترون أن يشغلها. يمكن للإلكترون في مدار الذرة الخارجي أن يربح طاقة بامتصاص فوتون (تجعله يقفز إلى عصابة أعلى) أو أن يحرر طاقة بإصدار فوتون (فيهبط من جديد للأسفل) ويصنف الفيزيائيون هذه التأثيرات نوعاً من حوادث الانتثار.

لنخيل عصابات الطاقة كسلسلة من الدلاء، التي يقع ضمنها الإلكترون (انظر المخطط في الصفحة 69). تبقى عادة جسيمع الإلكترونات تقريباً في عصابة الطاقة، أو الدلو الأدنى، تاركة العصابة الأعلى فارغة تقريباً. ولكن إذا اصطدم فوتون ذو طاقة مساوية عرض المجال المحظور أو أكبر منه بالإلكترون أمكنه أن يرفع الإلكترون إلى العصابة الأعلى. أي إن الإلكترون يقفز من الدلو الأدنى إلى الدلو الأعلى ويسمى هذا المفعول امتصاص الضوء. وهو الأساس للطريقة

بمعدل نقل بيانات يصل إلى نحو ميكابايت واحد في الثانية. في حين أنه يمكن بسهولة للوسائط الضوئية التي تعتمد على شبيبات السيليكون نقل الملفات الرقمية المضخمة مثل ملفات الفيديو العالي الدقة بمعدلات تصل إلى 10 جيجابايت في الثانية، وهذا يمثل تحسناً بمقدار 10 000 مرة. ويمكن أيضاً للمحسسات sensors المدمجة التي تحتوي على دارات تكاملية وليزرات سيليكونية أن تضم القدرات التشخيصية «مختبر على شريحة» Lab-on-chip وبعض الاتصالات اللاسلكية للكشف عن الموثثات أو عوامل الحرب الكيميائية أو المتفجرات. وذلك كجزء من شبكة رصد بيني وأمني واسعة. وفي تطبيقات عسكرية وأعدة، فإن ليزرات السيليكون يمكن أن تكون قادرة على تضليل محسسات الأشعة تحت الحمراء في الصواريخ المضادة للطائرات التي تعمل على متابعة الأثر الحراري، ومن ثم تقديم إجراء مضاد وغير مكلف لهذه الصواريخ.

لماذا لزم كل هذا الوقت الطويل لتعليم السيليكون هذه الحيلة الجديدة؟ فبخلاف المواد التي تستخدم عادة وسطاً مضيقاً لتوليد إشعاع الليزر (مثل زرنخيد الكالسيوم GaAs) المستخدم في السواقات الليزرية (DVD)، فإن السيليكون ليس مرتباً بصورة طبيعية لدعم السيروورة الثانية المرحلة اللازمة لإنتاج حزمة ضوء متراپط ولا يمكن للسيليكون أن يصدر ضوءاً بكفاءة عندما يُثسُط (وهذا هو المتطلب الأول) ومهما كان الضوء الذي ينتجه السيليكون فهو غير قادر على تضخيم هذا الضوء، إلى حزمة ليزر بواسطة حثه على توليد فوتونات أكثر. (الليزر هو مصطلح يصف تضخيم الضوء بواسطة الإصدار المحثوث للإشعاع).

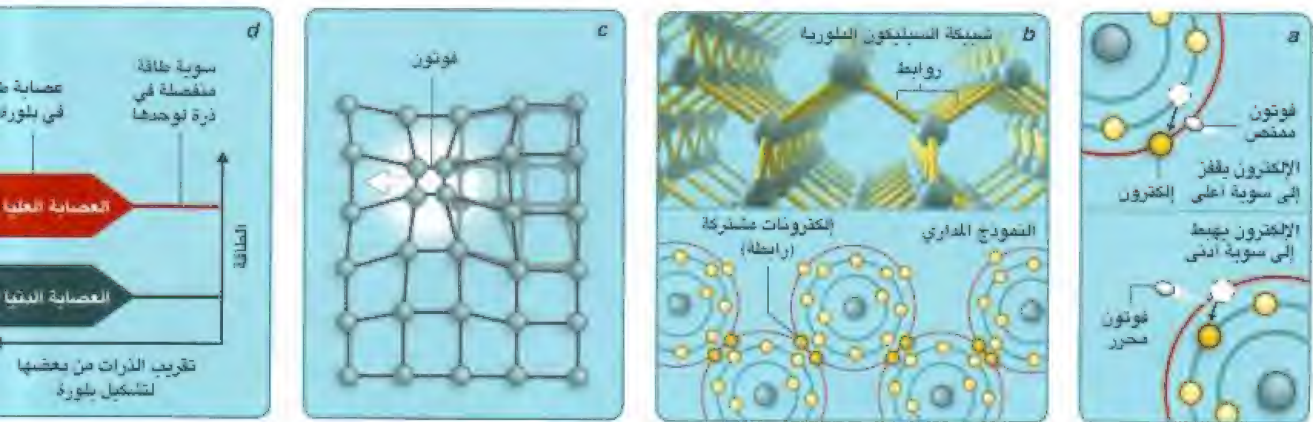
في الليزر، يقوم منبع طاقة خارجي، يكون عادة ضوءاً أو تياراً كهربائياً، بضخ إلكترونات ذرات الوسط المضيق إلى مستوى طاقة أعلى، وهو الذي يدعوه الفيزيائيون مستوى أعلى (أو مثاراً) وعندما تعود هذه الذرات إلى مستوى طاقتها الطبيعي (الأدنى)، فإن الطاقة الزائدة تتحرر على شكل فوتونات ضوء (وهي الوحدات الكمومية الأساسية للإشعاع الكهرومغناطيسي الذي يوجد في الوقت نفسه بطبيعة مزدوجة: موجية وجسيمية). وقد دعا أينشتاين هذه السيروورة «بالإصدار التلقائي» spontaneous emission، وهي الظاهرة التي

نظرة إجمالية/ ليزر السيليكون

- لفترة طويلة سعى العلماء إلى الحصول على شريحة سيليكون تستطيع التعامل مع الضوء بمهارة كتعاملها مع الإلكترونات، ولكن السيليكون لا يصدر الضوء بسهولة وبخاصة ضوء الليزر المكثف. إن تقدماً كهذا قد يؤدي إلى نقل البيانات الرقمية بسرعة فائقة كما سيؤدي إلى شبكات محسسات جديدة وإيضاً إلى العديد من الابتكارات.
- بعد سنوات عديدة من العمل، تمكن الباحثون من جعل السيليكون يصدر إشعاعاً ليزرياً باستخدام عدة تقنيات مختلفة مستندة إلى المواد. وأصبحت ولادة تقانة هجينة جديدة - الإلكترونية الضوئية السيليكونية - في متناول اليد.

التحدي لجعل السيليكون يصدر إشعاعاً ليزرياً

يوفر السيليكون أملاً كبيراً من أجل حوسبة بواسطة الضوء القليلة التكلفة، لكن طبيعته ذاتها تجعله وسطاً غير قابل للإصدار الليزري.



(المكواة للشبكة البلورية [c])

تعتمد عملية الليزرة (إصدار الإشعاع الليزري) على السلوك الكمومي للإلكترونات في المدارات الخارجية للذرات في مادة مناسبة يحفز (أو يضيخ) إلكترون في الطبقة الخارجية لذرة منفردة حين يمتص فوتوناً. الوحدة الكمومية الأولية للضوء - برقبه إلى مدار وسوية طاقة أعلى (a) - يحرر الإلكترون المحفز فوتوناً حين يهبط إلى سوية أدنى. تشكل الذرات في جسم صلب روابط بواسطة التشارك في هذه الإلكترونات الخارجية [b]، وللوصول إلى تضخيم الضوء، وهو الشرط الأساسي لليزرة، تضخ مائع طاقة خارجية الإلكترونات المشاركة إلى سويات طاقة أعلى. وحين تحرر الإلكترونات المحفزة فوتونات فإن هذه تحدث بدورها إصدار فوتونات أخرى وهذا يضيخ الضوء. ويمكن للفوتونات كذلك أن تضخم حين تصطدم بالفوتونات المتارة والتي هي الاهتزازات الذرية

حين ترتبط الذرات المنفردة ببعضها ببعض لتشكل بلورة تتغير سعة سويات طاقة الإلكترونات فتصبح عصابات أعرض [d] بسبب تأثير الذرات القريبة العديدة على الوسط الكهرمغناطيسي. وعلى هذا فإن إلكتروناتاً مضخوخاً يقفز من عصابة إلى أخرى. وحين يرسم الخط البياني لطاقت الإلكترونات في وسط ليزري شائع مثل زرنخيد الكاليوم بدلاً الاندفاعات فإن عصابات الطاقة تصطف إحداها فوق الأخرى لأنها تشترك بالاندفاعات ذاتها [e] تصطف العصابات الحالات الكمومية الممكنة للإلكترونات، ولكل من هذه الحالات كمية يمكن مطابقتها مع الاندفاع الكلاسيكي الذي ينبغي أن يبقى محفوظاً أثناء التصادمات. إن للعصابات في السيليكون، على العكس من ذلك، اندفاعات مختلفة. وهذا يعني

التي تقوم فيها الخلايا الشمسية بتحويل الضوء إلى كهرباء.

ولكن تمنع المادة فوتونات فإنها يجب أن تتلقى طاقة كافية لتضخ الكثير من الإلكترونات من العصابة الدنيا إلى العصابة العليا، مسببة ما يسمى انعكاس السكان (population inversion) (مقارنة بالتوزيع المعتاد في العصابات) وليس من الضروري ضخ كامل الإلكترونات، ولكن يكفي فقط التأثير في الجزء القريب من قمة العصابة الدنيا. وغالباً ما يؤثر المهندسون الإلكترونات مباشرة بإحجام تيار كهربائي عبر دiod شبه موصل. وكذلك فإن إضاءة المادة بمنبع ضوء خارجي، كما فعل «هيمان». يمكن أن تضخ الإلكترونات

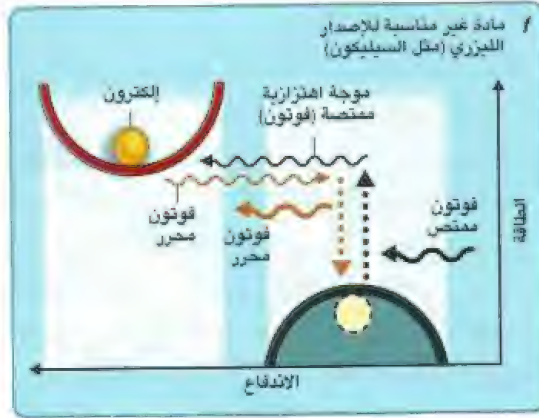
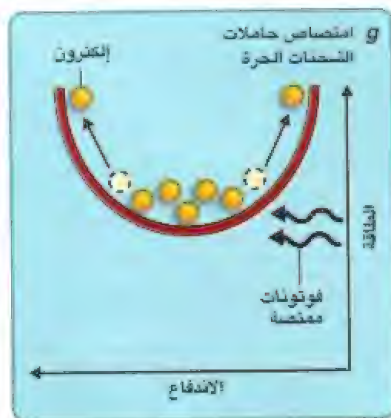
تحرر الإلكترونات الموجودة في العصابة العليا في آخر الأمر طاقة، فتصدر فوتونات عندما تنتشر الفوتونات الناتجة خلال شبه موصل يحتوي على العديد من الإلكترونات في المستوى الأعلى (إسكان إلكتروني)

معكوس)، فإنها تحدث إلكترونات أخرى على إصدار مزيد من الفوتونات وتكون إصدارات شبه الموصل في أحسن الأحوال مساوية للطاقة الممتصة. ومع أن الإلكترونات والفوتونات تتبادل الطاقة في سيرورات الامتصاص والإصدار هذه (سيرورات الانتثار). فإن الطاقة الكلية للجملة تبقى محفوظة: أي إن الطاقة المكتسبة تساوي الطاقة المفقودة، كما هو مطلوب في قانون انحفاظ الطاقة. ولكن الامتصاص والإصدار يحصلان فقط إذا كان الاندفاع محفوظاً أيضاً وفقاً لقانون انحفاظ الاندفاع. يمكن النظر إلى الاندفاع، الذي يتحدد بالنسبة إلى فوتون يسير (مثل موجة) في بلورة من طول موجته مباشرة. على أنه ميل الفوتون لمتابع سيره في الاتجاه نفسه ولكن الفوتونات لكونها رماً صغيرة من الطاقة الصافية لا تملك اندفاعاً كافياً لتسهم في تصادمات الانتثار. ولهذا تحدث

الانتقالات بصورة أفضل عندما يكون للعصابتين الدنيا والعليا (نقاط البداية والنهاية للانتقالات بين العصابات) الاندفاع نفسه. ويتحقق هذا التساوي في الاندفاع في المواد ذات الاستخدام الشائع كمصادر للإشعاع الليزري، مثل: زرنخيد الكاليوم وفسفيد الأنديوم، التي تقع عصاباتهما الطاقية بعضها فوق بعض بشكل مباشر، عندما ترسم بيانياً على مخطط يربط الطاقة مع الاندفاع ويسمح هذا الاصطفاف المباشر بتبادل مباشر للطاقة بين الإلكترون والفوتون (انظر المظهر في الصفحتين 68 و 69) فإذا كانت لمادة ما هذه الخاصية المسماة الاصطفاف المباشر direct lineup كانت الحاصلة عاندة لترتيب ذرات هذه المادة في شبيكتها البلورية

على كل حال، إن للسيليكون اصطفاها

The Challenge of Getting Silicon to Lase
electron population (2)
crystal lattice (1)
semiconductor diode (1)
direct lineup (3)



العصبة ذاتها [g]، وهذا حدث لا ينتج فوتوناً آخر ولذلك فهو لا يساعد على تضخيم الضوء والليزر. تحتوي عصابات زرنخيد الكاليوم العليا على القليل من الإلكترونات شديدة. وحين يرسم مخططها البياني تبدو العصابة العليا ضيقة ذات جوانب شديدة الانحدار. وبما أن لزرنخيد الكاليوم معدل إصدار عال (يضخم الضوء بفعالية لأن عصابات مصطفة إحداها فوق الأخرى) فإن إصداراته الفوتونية تفوق بسهولة امتصاصاته، ولذلك فإن هذه المادة تضخم الضوء. أما عصابات السيليكون العليا الأكثر عرضاً والتي جوانبها أقل انحداراً فتتطلب إلكترونات أكثر لتعقل. فالسيليكون، بمعدل إصداره المنخفض الذي سببه الاصطفاف غير المتساوي وبمعدل امتصاص حاملات شحناته الحرة العالي لا يستطيع تضخيم الضوء.

إن الطاقة من فوتون ممتص لا تكفي لوحدها لكي يقفز الإلكترون إلى عصابة أعلى [f]. وعوضاً عن ذلك ينبغي على الإلكترون أن ينتظر حتى يظهر فوتون له الاندفاع الإضافي المناسب لكي تنتقل الطاقة. ولسوء الحظ فإن هذه إلكترونات غالباً ما تفقد طاقتها الزائدة على شكل حرارة قبل أن يصل فوتون مناسب، وهذا يؤدي إلى عدم إصدار السيليكون للضوء بكفاءة. تسمح كفاءة الإصدار المنخفضة للسيليكون لظاهرة تدعى الامتصاص بواسطة حاملات الشحنة الحرة أن تعيق تضخيم الضوء والليزر. فحين يتأثر فوتون مار مع إلكترون محفز (حامل شحنة حر) في عصابة عليا يمكن أن تحدث واحدة من عمليتين متنافستين: فإما أن يحث الفوتون إصدار فوتون آخر مسبباً هبوط الإلكترون إلى عصابة أدنى أو أن يمتص إلكترون ببساطة الفوتون ما يؤدي إلى مجرد رفع الإلكترون إلى أعلى في

تضخيم الضوء، أو يمكن للإلكترون أن يمتص الفوتون، ثم يتحرك فقط إلى الأعلى في العصابة العليا وهذه السيورة لا تؤدي إلى توليد فوتون آخر. ولذلك لا ينتج منها تضخيم للضوء ومعدلات حدوث هذين الأثرين المتنافسين تعتمد على عدد الإلكترونات الموجودة في عصابة الطاقة العليا.

تكون العصابات (أو الدلاء) العليا في المواد الليزرية الجيدة (مثل زرنخيد الكاليوم) ضيقة وذات جوانب شديدة الانحدار، ولذلك فهي تميل إلى إمساك إلكترونات قليلة نسبياً وعلى العكس من ذلك فإن السيليكون يتميز بعصابات طاقة عليا أعرض وأقل انحداراً، وهي لذلك تتطلب عدداً أكبر من الإلكترونات لتعقل. وعندما يُضخ السيليكون، يكون لديه ميل كبير إلى دعم امتصاص حوامل الشحنة الحرة. ولما كان لزرنخيد الكاليوم معدل إصدار عال (فهو

يبدى السيليكون كفاءة إصدار منخفضة. فمن بين مليون إلكترون مثار هناك إلكترون واحد سوف يحرر فوتوناً بنجاح ومقارنة بالأوساط الليزرية الشائعة مثل (زرنخيد الكاليوم) فإن كفاءة إصدار هذا الأخير أكبر بنحو 10 000 مرة.

تحد الفجوة الطاقية غير المباشرة من كفاءة ليزر السيليكون. ولكنها لا تمنع سيورة الليزر بحد ذاتها هناك أيضاً عاملان آخران خاصان بالسيليكون لهما تأثير فامتصاص حوامل الشحنات الحرة، وهي السيورة التي تحصل ضمن عصابة طاقة معينة. لتتصور مجموعة من الإلكترونات (حوامل شحنات حرة) قد ضُخَّت إلى عصابة أعلى فعندما يتأثر فوتون مار مع إلكترون مثار. يمكن أن تحصل واحدة من حادثتين: إحداها ملائمة والأخرى غير ملائمة يمكن للفوتون أن يسبب هبوط الإلكترون إلى عصابة أدنى ويحثه على إصدار فوتون آخر. وهذا بدوره يغذي سيورة

غير مباشر بصورة طبيعية نتيجة بنية بلورية قمية غير ملائمة إطلاقاً، وهذا يعني أن المادة تعاني اختلافاً كبيراً في الاندفاع بين عصاباتهما العليا والدنيا (تصف العصابة الحالات الكمومية الممكنة التي يمكن أن يأخذها الإلكترون. ولكل حالة مقدار يمكن أن يقابل اندفاعاً معهوداً)، وهذا يجب أن يبقى محفوظاً أثناء التصادمات). لهذا لا تستطيع الإلكترونات أن تتبادل الطاقة بسهولة مع الفوتونات وتحافظ في الوقت نفسه على الاندفاع. وعوضاً عن هذا يجب على الإلكترونات أن تنتظر حتى تظهر موجة اهتزازية لشبكة السيليكون البلورية (والتي تسمى فونون) لها الاندفاع المناسب بالضبط، لتقدم الاندفاع الإضافي الضروري لتسهيل سيورة نقل الطاقة. ولسوء الحظ فإن الإلكترونات في السيليكون غالباً ما تفقد طاقتها الإضافية على شكل حرارة فيما هي تنتظر وصول فوتون مناسب. ونتيجة لذلك

تحت الذرات المثارة أثناء سيرها إصدار فوتونات أكثر بشكل متسلسل

يصخم الضوء - بشكل فعال - لأن عصاباته الطاقية مصطقة بشكل مباشر)، فإن إصداراته الكلية للفوتونات تفوق بسهولة امتصاصاته أما السيليكون - بمعدل إصداره المنخفض (بسبب الاصطفاف غير المباشر) ومعدل الامتصاص العالي لحوامل الشحنات الحرة فيه - فهو غير قادر على تضخيم الضوء.

وهناك سيرة خفية تعرف باتحاد أوجيه Auger recombination تعميق أيضاً ليزرة السيليكون في هذه الظاهرة، فإن الإلكترون في عصابة الطاقة العليا بدلاً من إصدار الضوء - يتخلي عن طاقته للإلكترونات الأخرى، وهذه دورها تتخلي عن طاقتها الزائدة على شكل حرارة وتعتمد كمية الطاقة الضوئية الضائعة على عدد الإلكترونات الموجودة في العصابة العليا ويخضع السيليكون لاتحاد أوجيه أكثر مما هي عليه الحال في زرنيخيد الكالسيوم، لأنه يحتاج إلى ضخ إلكترونات أكثر إلى العصابة العليا للتغلب على كفاءة إصداره الضوئي الضعيفة

تعليم السيليكون

إصدار إشعاع ليزري

في السنوات الخمس الأخيرة بدأ الباحثون بإيجاد طرق للتغلب على تلك الصعوبات المتأصلة في السيليكون وإحدى هذه الطرق تنفيذ لتحسين إصدار الضوء من ظاهرة رائعة تسمى الحصر الكمومي quantum confinement، تحدث عندما تقيد حركة الإلكترون باتجاه واحد أو أكثر. فبتقييد الحركة في حيز ثلاثي الأبعاد، يدعى القفص الكمومي، يتهيج الإلكترون عندما يتقلص حجم القفص وتحدث هذه الظاهرة نتيجة لعدم التعيين لهايزنبرك - الذي

ينص على أن تحديد مكان إلكترون يجعل تحديد سرعته ومن ثم اندفاعه (الذي يساوي حاصل جداء الكتلة في السرعة) أكثر عشوائية، ويخفف هذا الشرط بشكل فعال عن قيد انحفاظ الاندفاع، الذي يحكم انتقال الطاقة بين فوتون وإلكترون. وهذا يرفع معدل الإصدار الضوئي لشبه الموصل

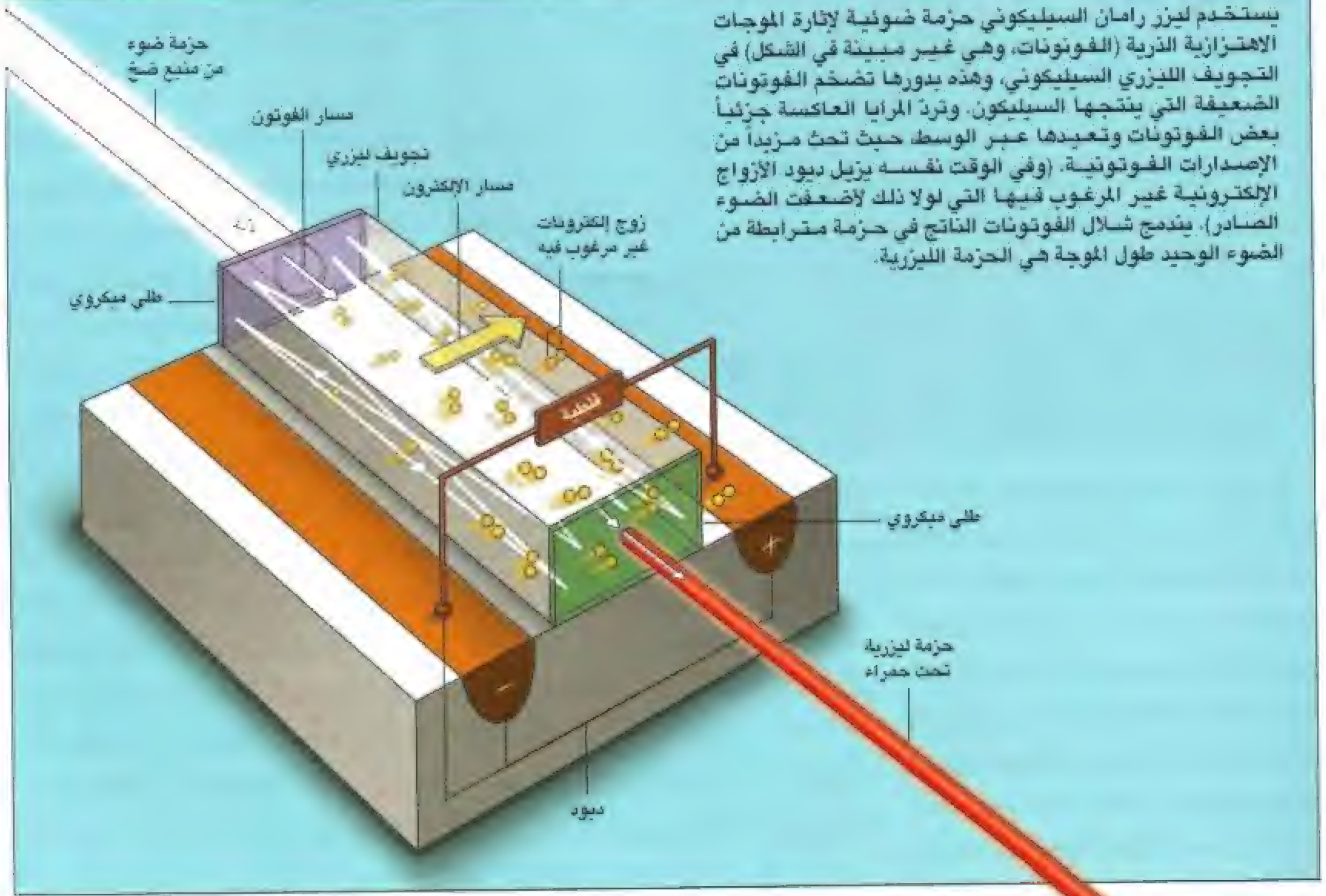
ولصنع قفص كمومي للسيليكون، يمكن للباحثين أن يصنعوا فيلماً رقيقاً من زجاج السيليكا (ثاني أكسيد السيليكون) وأن يزرعوا فيه قطعاً صغيرة جداً من السيليكون البلوري وهذه البلورات النانوية، التي يمكن أن تُضخ بواسطة إضاءتها بمنبع ضوء خارجي، لا يتجاوز عرضها بضعة ذرات، ولذلك يمكنها تحقيق الحصر الكمومي وفي عام 2000 كانت مجموعة «بافيسي» في جامعة ترينتينو بإيطاليا [أول من سجل دليلاً تجريبياً على بلورات سيليكون أبعادها من مرتبة النانو مضخمة ضوئياً في البداية استقبل الفيزيائيون هذه النتيجة بالشك، ولكن «Phi» فوشيت «من جامعة روتشستر» وآخرين أكدوا فيما بعد هذه النتيجة ومع أن هذه الطريقة لم تُنتج الليزر بعد، فإنها أوضحت باختراعات أخرى حققت نتائج مشجعة

ويستفيد أحد الإنجازات التي تستثمر الحصر الكمومي من العناصر النادرة (مثل الأريبيوم erbium)، التي يعرف العلماء أنها مُصدرات جيدة للضوء - فمصنَّع الأجهزة يضيفون بشكل روتيني عنصر الأريبيوم إلى الزجاج في الليف الضوئي لإنتاج مصخمات تعمل بالضخ الضوئي وليزرزات لشبكات الاتصالات قاد «بريولو» [من جامعة كانانيا في إيطاليا] و «s» كروفا [من مركز STM للإلكترونيات الميكروية في جنيف] البحث بهذه الطريقة بهدف تحسين الأداء الضوئي للسيليكون وقد برهنت مجموعة «كروفا» عملياً على إمكانية تصنيع ديودات مصدرة للضوء (LED)، تعمل عند درجة حرارة الغرفة بكفاءات

عالية كذلك التي تحققها الأجهزة المصنوعة من زرنيخيد الكالسيوم

إن الديودات الضوئية المطورة في مركز الإلكترونيات الدقيقة هي عبارة عن طبقات من معدن - زجاج - شبه موصل، حيث يقوم الجهد المطبق بين المعدن وشبه الموصل بتسريع الإلكترونات عبر الزجاج. وعندما تتحرك هذه الإلكترونات في الزجاج، فإنها تضخ إلكترونات ذرات الأريبيوم جاعلة إياها تصدر الضوء. وفي هذه الحالة يقوم الحصر الكمومي في البلورات النانوية بدور متواضع نسبياً وهو تحسين موصلية الزجاج. وهكذا ينخفض الجهد اللازم لتحقيق جريان الإلكترونات ومع أن تقنية الديودات الضوئية هذه مغيدة جداً، فإنها تنتج ضوءاً منتشرأ (عبر الإصدار التلقائي)، بدلاً من ضوء الليزر الذي يتولد بالإصدار المحثوث. وعلى كل حال فإن الباحثين في مركز الإلكترونيات الميكروية يتوقعون تقديم عرض نموذج تجريبي لتوليد الإشعاع الليزري الحقيقي في سيليكون مطعم بالأريبيوم في وقت قريب مؤخرًا، رصدت مجموعة «د.سو» [في جامعة براون] إصدار إشعاع ليزري عند درجات حرارة منخفضة (230°C-)، وهذه درجة حرارة منخفضة جداً بالنسبة إلى الاستخدام العادي) في قطعة سيليكون ذات بنية نانوية (انظر الشكل في الصفحة 73) لقد حصلوا على هذا الأثر أولاً بتشكيل مصفوفة من عدد كبير من الثقوب في المادة متوضعة بشكل قريب بعضها من بعض (يبعد أحدها عن الآخر بمقدار 110 نانومتر) على سطح فيلم رقيق من السيليكون، ثم بضخ هذه الثقوب ضوئياً. لقد عزوا «سو» وفريقه إصدارات الليزر التي رصدها إلى إلكترونات متوضعة على عيوب بلورية تحدث بشكل طبيعي على السطوح البلورية لبنى السيليكون النانوية. ثم عزوا الإصدارات العالية إلى عدم التعيين الكمومي في الاندفاع والناتج من التقييد الموضعي الشديد جداً للإلكترونات. توفر هذه البنى إمكانيات مثيرة

تشغيل ليزر سليكوني



يستخدم ليزر رامان السيليكوني حزمة ضوئية لإثارة الموجات الاهتزازية الذرية (الفونونات، وهي غير مبيّنة في الشكل) في التجويف الليزري السيليكوني، وهذه بدورها تضخم الفوتونات الضعيفة التي ينتجها السيليكون. وتزداد المرايا العاكسة جزئياً بعض الفونونات وتعيدها عبر الوسط، حيث تحدث مزيداً من الإصدارات الفوتونية. (وفي الوقت نفسه يزيل ديود الأزواج الإلكترونية غير المرغوب فيها التي لولا ذلك لأضعفت الضوء الصادر). يندمج شلال الفونونات الناتج في حزمة مترابطة من الضوء الوحيد طول الموجة هي الحزمة الليزرية.

ونجحنا في تشغيله وفصله كهربائياً يسمى العلماء التأثير المتبادل للضوء مع الفونونات **مفعول رامان Raman effect**، وقد استخدموه بشكل واسع في أواخر الستينات وفي السبعينات للتحري عن الخواص الفيزيائية للعديد من المواد ومن بينها السيليكون وأخيراً سخر العلماء هذا المفعول لجعل الألياف الضوئية تعمل مضخمات وليزرات ولكن نظراً لأننا بحاجة إلى عدة كيلومترات من هذه الألياف لهذا الغرض، فقد قشل الباحثون السابقون في رؤيته وتحقيق طريقة عملية للحصول على شريحة سيليكونية ليزرية. لكن فريقنا أدرك أن الجميع غفلوا عن حقيقة أن مفعول رامان في السيليكون يمكن أن يكون أكبر بنحو 10000 مرة مما هو عليه في الألياف الضوئية التي تصنع من الزجاج. وهذه الاستجابة الأكبر

الفونونات في شبه موصل بلوري. فإن حزمة ضعيفة من الضوء تعبر هذه الشبكة البلورية يمكنها أن تلتقط طاقة الفونونات هذه وتصبح مضخمة، وإعادة بعض الضوء المضخم ثانية إلى البلورة تجعلها تصدر إشعاعاً ليزرياً

في عامي 2002 و 2003، وبدعم من وكالة مشاريع الأبحاث الدفاعية المتقدمة Defense Advanced Research Projects Agency، بينت مجموعتنا [في جامعة كاليفورنيا بولس انجلوس] أن شريحة من السيليكون يمكن أن تولد الضوء وتضخمه باستخدام هذه التقنية وفي عام 2004 قدم فريقنا أول ليزر سيليكوني. فكما في ليزر ميامان، ضخمنا جهازنا ضوئياً. وهذه سيروورة غير فعالة عادة ولكن ما يثير الدهشة أن جهازنا السيليكوني حول طاقة الضخ إلى ضوء بكفاءة قريبة من كفاءة الليزرات التقليدية الحالية وبعد هذا بقليل قمنا بغرس جهاز الليزر في ديود،

الليزرات نانوية من السيليكون لا تستثمر الليزر الضوئية في السيليكون فحسب، بل قابلية العنصر ليعمل كمرايا ومرشحات معقدة تستطيع أن تتعامل مع الضوء المتولد مثل هذه الأجهزة يمكن أن تكون مفيدة في شبكات الاتصالات في المستقبل [انظر «البلورات الفوتونية: أشباه موصلات الضوء» **العلوم**، العدد 4 (2002)، ص 58]

السيليكون يتعلم إصدار الإشعاع الليزري

إن ضخ الإلكترونات إلى عصابة الطاقة العليا في بلورة شبه موصلة، ليس هو الطريقة الوحيدة لتضخيم الضوء؛ إذ يتبع الباحثون طرقاً أخرى في سبيل صنع ليزر سيليكوني فمثلاً إذا أضيفت طاقة إلى

Running Silicon Laser (1)
Silicon Learns to Lase (1)

من المفاجيء أن جهازنا السيليكوني حول الطاقة المضخوخة إلى ضوء بكفاءة توازي كفاءة الليزر التقلدية.

للإلكترونيات بأن تتراكم وتستنزف طاقة المنظومة ويمكن الوصول إلى ليزر يعمل بشكل مستمر بتطبيق حقل كهربائي (يولد بواسطة ديود مجاور) يقوم بجرف الإلكترونات المتبقية بعيداً. وقد اقترح الباحثون [في جامعة هونك كونغ الصينية] تجريب هذه الطريقة، وبين <H> وونك> والعاملون معه [في الشركة إنتل] ذلك عملياً في عام 2005. وتشير الأبحاث الحالية إلى أن هذه الطريقة فعالة بشكل جزئي فقط، لأن المعدل الذي تُزال به الإلكترونات سيكون محدوداً بالسرعة العظمى التي يمكن أن تصل إليها الإلكترونات في السيليكون (1/1000 من سرعة الضوء)، ولإنجازها تحتاج أيضاً إلى طاقة كهربائية كبيرة. ولحسن الحظ، فنحن نعرف بعض الحيل التي تستطيع تحسين كفاءة الليزر السيليكوني فقتذف السيليكون بيروثونات أو إضافة مقادير صغيرة من الفلانتينوم سيعمل على إجبار الإلكترونات على العودة بسرعة إلى عصابة الطاقة الدنيا بدلاً من أن تقوم حوامل الشحنات الحرة بامتصاص الفوتونات القليلة

وهذه الإجراءات تقلل من عدد الإلكترونات في العصابة العليا، وهذا بدوره يقلل من إعادة امتصاصها للضوء. وهكذا فإن سحب الإلكترونات يحل جزءاً من المشكلة فقط، ولكن الجهاز مازال يفقد طاقة الضخ عندما تولد هذه الإلكترونات من دون قصد وباستخدام الحيلة التي نتحكم في عمل الخلايا الشمسية، أوضح فريقنا في عام 2006 أن ليزرات رامان السيليكونية يمكن أن تولد قدرة كهربائية، وذلك بحصد الطاقة المضخوخة الضائعة. إن الإلكترونات الحرة، التي تولدت بامتصاص فوتونين من دون قصد، تجري عبر السيليكون لتولد الكهرباء. لقد تعلمنا أنه يمكننا ترتيب جريان الإلكترونات بالطريقة التي يكون فيها استهلاك الطاقة في الجهاز (وهو حاصل جداء التيار الكهربائي في الجهد) سالباً،

العليا لكن قد يتشارك فوتونان أحياناً في طاقتهم ويتصان من رفع إلكترون إلى العصابة العليا ومع أن عدد هذه الإلكترونات المضخوخة بهذه الطريقة قليل نسبياً، فإنها تضعف طاقة المنظومة. ليست ليزرات رامان هي الوحيدة المعرضة لهذا النوع من فقدان الطاقة. فقد عرض <A> كابتا و <M> لپسوز [من جامعة كورنل] في عام 2006 جهازاً يمكن أن يكون مفيداً لتضخيم الضوء، وذلك بمرجه مع حرمة ضوء أكثر قوة. هذا المضخم، والليزر المكمل الذي لم يتم الحصول عليه بعد، سيعاني الخسارات نفسها، كما هو الأمر في جملة أساسها مفعول رامان

لتجنب مثل هذه الخسارات، قمنا بتشغيل ليزرنا الأول بشكل نبضي لم يسمح

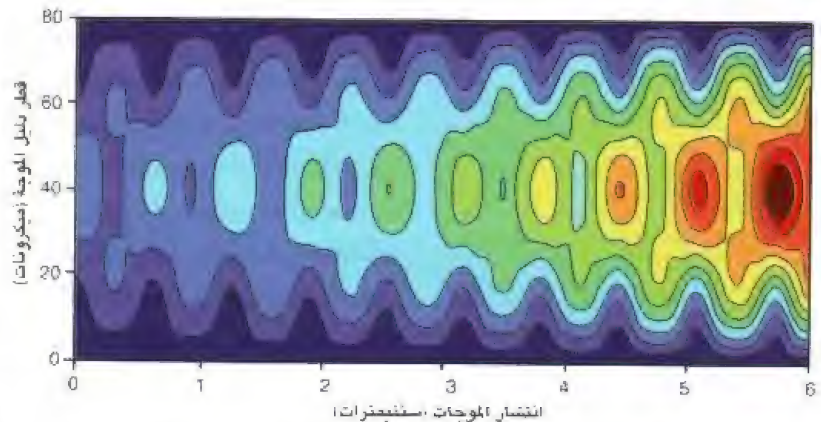
بكثير تأتي من البنية الذرية المرتبة بشكل جيد في بلورة السيليكون (وأخيراً، صفة متصلة في السيليكون تساعد على إمكانية إصدار الإشعاع الليزري)، في حين أن الترتيب الذري العشوائي في الزجاج البللوري للآلياف الضوئية يُبقي مفعول رامان صغيراً

يتطلب ليزر رامان ضخاً ضوئياً. ولتجنب توليد إلكترونات في عصابة الطاقة العليا للسيليكون التي تعيق إصدار الضوء (مشكلة امتصاص حوامل الشحنات الحرة)، قام فريقنا بإثارة السيليكون مستخدماً الأشعة تحت الحمراء ذات الطول الموجي من رتبة 1500 نانومتر لقد أبت هذه التقنية طاقة الفوتون أقل من عرض المجال المحظور، وهكذا بقيت غير كافية لرفع الإلكترون إلى العصابة

مضخم الأخيلة الليزري السيليكوني

في ليف ضوئي (أو دليل موجة) مقطعه العرضي أكبر كثيراً من الطول الموجي لبعض الضوء الوارد، ينتعد أي شكل ضوئي ويقرب من الوضوح لدى سيره عبر الأنبوب الضوئي نتيجة للتداخل البناء والهدام بين الموجات الضوئية التي تنعكس على جدران دليل الموجة. ويتضافر مفعول التنبير والتضخيم الضوئي لتنبير وتضخيم خيال ما في الوقت نفسه، في حين يمر الضوء في دليل الموجة (الألوان الأكثر حرارة باتجاه اليمين).

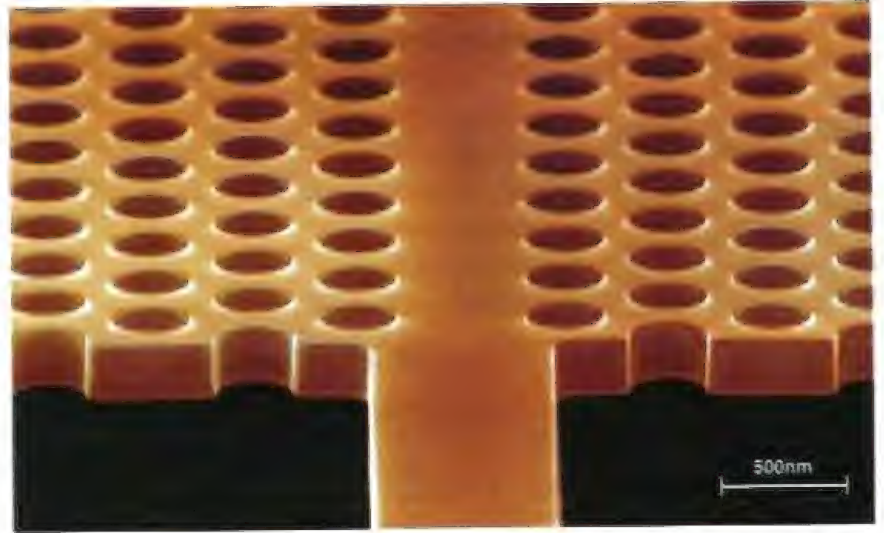
يطور الباحثون في جامعة كاليفورنيا بلبوس أنجلس وفي نورثروب كرومان بصورة مشتركة جهازاً يضخم فيه مفعول رامان (ناتج الفوتونات والفوتونات) خيلاً ضوئياً لدى تقدمه خلال دليل موجة سيليكوني سميك. مضخم الأخيلة هذا ينبغي أن يحسن حساسية الاستشعار عن بُعد remote sensing المني على الليزر، وكذلك منظومات تشكيل الأخيلة التي يستخدمها العلماء لمراقبة البيئة



Silicon Laser Image Amplifier (x)

الباحثون في السيليكون تقلبدياً بقاومون التقنيات الهجينة، لأن إضافة مواد أخرى تغير الخواص الكهربائية للسيليكون. ولذلك يُنظر إلى هذه المواد على أنها ملوثات. لكن النتائج المشجعة الحديثة التي حصلت عليها مجموعات عمل في جامعة متشيكان في أن آربرو وأيضاً بشكل منفصل فريق من الباحثين في جامعة كاليفورنيا بسانتا باربرا، أدت إلى تجديد الاهتمام بهذه المقاربة فإذا استطاع الباحثون التغلب على مشكلات عدم توافق المواد، أمكن لهذه الطريقة أن تقدم حلاً تجارياً آخر لليزر الذي أساسه السيليكون في الأمد القريب

لقد بدأت المنافسة الدقوية لليزر السيليكوني تعطي أكلها أخيراً. ويبدو أن هذا المجال قد وصل أخيراً إلى النقطة الحرجة التي ستسمح للسيليكون بتحتي مواد الليزر التقليدية. ويجب أن يجعل هذا التقدم تقارب الإلكترونيات والفوتونيات أمراً محتوماً. ومع أنه من المبكر معرفة المسار الدقيق الذي ستأخذه هذه التقنية الإلكترونية الضوئية، فإن التطبيقات الجديدة التي ستصبح ممكنة بواسطة ليزر السيليكون سيكون لها، غالباً، انعكاس كبير على حياتنا اليومية ■



كتشف فريق الباحثين جيمس سوه [في جامعة براون] عن الليزر عند درجة حرارة منخفضة في غشاء رقيق من السيليكون مشابه لذلك الظاهر في الأعلى. يحتوي سطح جهاز الفريق على ثقبو ابعاها نانوية، يبعد أحدها عن الآخر 110 نانومتر فقط تحدث الليزر بسبب كون الإلكترونات محصورة كمومياً في أقفاص إلكترونية على سطح السيليكون

المرغوب فيها) والمقاومة ضد التحريب الناجم عن مستويات عالية من الطاقة الضوئية، جاعلة إياه نموذجياً لتوليد حزم ليزرية فائقة الشدة.

لقد طور العلماء أيضاً طريقة هجينة وأعدة لإنتاج ليزر من السيليكون تعتمد على إضافة قطعة من زرنيخيد الكاليوم أو فسفيد الأنديموم إلى سطح ركازة سيليكونية. وكان

وهذا يعني أنه في الحقيقة يولد طاقة ويمكن للطاقة الكهربائية المولدة أن تقوم بتشغيل الدارات الإلكترونية الموجودة على الشريحة نفسها

وفيما بعد، بينت مجموعة باحثينا أن هذه الصعوبة تتلاشى كلياً إذا بدأنا بضخ ضوء ذي طول موجة أطول من 2300 نانومتر تقريباً (إن طاقة الفوتون الناتج صغيرة جداً لدرجة أن زوجاً من الفوتونات لا يمتلك طاقة كافية لرفع إلكترون إلى العصابة العليا، وهذا أمر لن يكون مفيداً في ليزر رامان) لقد وجدنا أن السيليكون يصبح وسطاً راتعاً لإصدار الإشعاع الليزري، وربما واحداً من أفضلها، عندما يُضخ بواسطة الأشعة تحت الحمراء التي يراوح طولها الموجي بين 2300 و 7000 نانومتر (النقطة التي تبدأ عندها أشكال أخرى من تأثيرات مؤذية بالظهور) ويقع هذا الطيف في مدى أبعد من مدى الليزر شبيه الموصلية الموجودة، ولهذا فإن تقنية ليزر السيليكون تسمح بتطوير تطبيقات جديدة ومن بين جميع المواد الليزرية، يقدم السيليكون واحداً من أفضل الأوساط التي تجمع بين الموصلية الحرارية (لتبديد الحرارة غير

المؤلف

Bahram Jalali

استاذ الهندسة الكهربائية في مدرسة هنري صامويل للهندسة والعلوم التطبيقية بجامعة كاليفورنيا، لوس أنجلوس. وهو أيضاً وكيل مركز العلوم في كاليفورنيا. يمضي جلالى معظم وقته الترفيهي بالابحار مع اولاده الثلاثة على الشاطئ الجنوبي لكاليفورنيا

مراجع للاستزادة

Subtle is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein. Abraham Pais. Oxford University Press, 1982

The Incredible Shrinking Transistor. Yuan Taur in IEEE Spectrum, Vol. 36, No. 7, pages 25-29; July 1999

Demonstration of a Silicon Raman Laser. Ozdal Boyraz and Bahram Jalali in Optics Express, Vol. 12, No. 21, pages 5269-5273; October 2004

Computing at the Speed of Light. W. Wayt Gibbs in Scientific American, Vol. 291, No. 5, pages 80-87; November 2004.

Optical Gain and Stimulated Emission in Periodic Nanopatterned Crystalline Silicon. S. G. Cloutier, P. A. Kossyrev and J. Xu in Nature Materials, Vol. 4, No. 12, pages 887-891; December 2005.

Optical Interconnects: The Silicon Approach. Edited by L. Pavesi and G. Guillot. Springer Series in Optical Sciences. Springer, 2006.

Silicon Photonics: The State of the Art. Graham Reed. John Wiley & Sons, 2007

Scientific American, February 2007

عروض ومراجعات كتب



لربما أخذ الصبر بالنفاذ مع نظرية الأوتار.

لقد بدأ بعض النظريين في السبعينات من القرن الماضي، بعد أن وجدوا أنفسهم عاجزين عن استيعاب قوى الطبيعة الأربع في وعاء واحد، بإضافة فضاءات جديدة، كالفضاء ذي الأبعاد السبعة الذي - على ما يبدو - يتطلب توحيد القوى. ويمكن باستعمال بعض الحيل الرياضية «رسم» هذه الأبعاد (غير المرئية) وإخفاؤها في شقوق النظرية، لكن كان هناك عدد لا نهاية له من الطرق للقيام بذلك. وقد يستطيع أحد هذه الترتيبات وصف هذا الكون. ولكن أي واحد منها؟

لقد تحول ياس الفيزيائيين إلى إثارة عندما اخترلت الإمكانات إلى خمس ثم إلى ابتهاج في أواسط التسعينات عندما تفوقعت هذه الإمكانات الخمسة في ما يسمى نظرية توحيدية M Theory، التي تعد بأن تكون الطريقة الصحيحة، وقد تعدى ذلك إلى الأمل بإمكانية التحقق التجريبي من هذه النظرية. وقد كتبت أنا شخصيا حينذاك مقالة تحمل عنوانا أصبح محررا الآن «لقد وجد الفيزيائيون في نهاية المطاف طريقة لاختبار نظرية الأوتار الفائقة».

حدث هذا قبل ستة أعوام وها نحن نسمع «سمولين» و«فويت» يبننان بعودة الموضوع إلى المربع الأول. توحي الأبحاث الحديثة بوجود 10^{400} نظرية توحيدية، جميعها صالحة تماما، وتوصف كل واحدة منها فيزياء مختلفة عن الأخرى. وهكذا أصبحت «نظرية كل شيء» كما يقول «سمولين» «نظرية لا شيء».

وقد خلص بعض نظريي الأوتار أمام هذه

THE TROUBLE WITH PHYSICS: THE RISE OF STRING THEORY, THE FALL OF A SCIENCE, AND WHAT COMES NEXT

by Lee Smolin
Houghton Mifflin, 2006

NOT EVEN WRONG: THE FAILURE OF STRING THEORY AND THE SEARCH FOR UNITY IN PHYSICAL LAW

by Peter Woit
Basic Books, 2006

استاذ جامعي « وبطبيعة الحال، فإن الحجة المضادة هي أن سيطرة نظرية الأوتار ناتجة من إدراك معظم النظريين أنها المقاربة الواعدة حقاً - إن رؤية الأوتار المهترئة وهي تعترف بالتنافس الكوني جميلة إلى حد يجعل النظرية صحيحة بالضرورة إلا أن هذه الميزة أصبحت هي نفسها موضوعا للتساؤل «فما يلبث المرء - بعد أن بدأ بتعلم تفاصيل نظرية الأوتار الفائقة ذات الأبعاد العشرة، وتعلم شطب الشذوذ» و«فضاءات» كالإبي-ياو» الخ - أن يتحقق من أن صلة رنة الوتر ونغماته الموسيقية هي في الواقع مجرد صلة شعرية». هذا ما ورد في كتاب «فويت» [مدرس الرياضيات بجامعة كولومبيا] بعنوان فشل نظرية الأوتار وهو يرى أن ألف والدوران اللذين يتطلبهما إخفاء الأبعاد الإضافية، التي لا وجود لها على ما يبدو، أبخلاء بئى «في غاية التعقيد» و«شنيعة إلى أقصى حد».

سيعرض فيزيائيون عديدون على هذا الحكم القاسي لكنه لا يجوز صرف النظر عن هذين الكتابين بحجة تقدمهما اللانزع فكل من «سمولين» و«فويت» يقرّ بالتقدم المهم الذي أحرزته الرياضيات نتيجة تفحصها للأوتار الفائقة؛ ولكن ما من نظرية مناسبة تلوح في الأفق. ولذا فهما يلحان على ضرورة الانتقال إلى غيرها. ويقول «سمولين» «يبدو أن جميع المهتمين بالفيزياء الأساسية يتفقون على الحاجة إلى أفكار جديدة» ويضيف «إننا نفقد أمرا كبيرا».

الكون الذكي

كتابان جديان يقولان إن الوقت قد حان لإسقاط نظرية الأوتار

المشكلة في الفيزياء: ارتقاء نظرية الأوتار

وسقوط علم وما يلي ذلك

تأليف «سمولين»

ليست حتى خاطئة: فشل نظرية الأوتار

والبحث عن وحدة قوانين الفيزياء

تأليف «فويت»

يشير هذان الكتابان إلى عكس ما يطرحه حاليا معظم الباحثين في نظرية الأوتار. حيث يخلصان إلى أن سعار البحث في الأوتار والتعقيدات «وفي الأبعاد المعقوصة» هو مجرد بحث سطحي لا عمق فيه، إنه حشر للرموز لا يؤدي إلى فهم الكون أكثر مما يؤدي إليه النثر المؤلف عشوائيا

لا يكتفي هذا التقييم القاسي لنظرية الأوتار - وهي النظرية التي تحاول الجمع بين النسبية العامة والميكانيك الكمومي - بالقول إنها لم تخضع للاختبار وإنما هي غير قابلة للاختبار إطلاقا، غير قادرة على التنبؤ بما يمكن التحقق منه تجريبيا. ولما كان من غير الممكّن التحقق من صحة نظرية الأوتار الفائقة، فإنها ستؤول «بشكل ما إلى بلد عجائب ميتافيزيائي». «حسب تعبير «ريتشر» [الرئيس الفخري لمركز المسرع الخطي في استنفورد]. وهذا ما يدفع نقادها إلى التدمير قائلين: «إن العمل ما زال يجري فيها على قدم وساق وكأنها اللعبة الوحيدة المتاحة».

«إن سيطرة نظرية الأوتار على العمل الأكاديمي تلزم الفيزيائي النظري الشاب بالانضمام إلى هذا المجال في البحث، وإلا فإنه سيضحي بمستقبله المهني». هذا ما جاء في كتاب «سمولين» [الفيزيائي بمعهد بيريمتر للفيزياء النظرية] بعنوان «المشكلة في الفيزياء» ويضيف «قال لي بعض نظريي الأوتار إنهم يشعرون أنهم مضطرون إلى العمل في نظرية الأوتار سواء أكانوا يؤمنون بها أم لا. ذلك أنه يُنظر إليها كمفتاح للحصول على منصب

THE INTELEGANT UNIVERSE (١٠)

string theory (١١)

branes (١٢)

curled-up dimensions (١٣)

metaphysical wonderland (١٤)

anomaly cancellation (١٥)

Gaijin-Yau spaces (١٦)

عرض ومراجعة

George Johnson

له كتب عديدة، منها: «اللهب في العقل العلم والإيمان والبحث عن الانتقام»، «الجمال الغريب» «موري كيلمان» والنورة في فيزياء القرن العشرين»

(1) The universe is not elegant but accidental (2) postmodern fatalism (3) springs conference (4)

الحدثات " هذه ويأملون في حدوث طفرة تنير الطريق إلى قمة الجبل فقد احتشدوا في قاعة الشعب الكبرى ببكين، في صيف عام 2006، بمناسبة انعقاد مؤتمر الأوتار، للاستماع إلى «ستيفن هوكينج» معلنا «إننا على وشك الإجابة عن سؤال بالغ القدم من أين أتينا» ولماذا نحن هنا؟ ويأملون ألا يكون الجواب هكذا

الحرية المطلقة في الاختيار، إلى القول «إن الكون ليس اتقيا وإنما اتفاقيا» وإذا كان الأمر كذلك فإنه لا معنى لمحاولة تفسير قيمة الثابتة الكونية تماما مثلما لا معنى للبحث عن سبب رياضيائي عميق لكون إشارات الوقوف ثنائية الأضلاع أو لكون عدد الفقرات عند الإنسان 33 فقرة ويرفض أغلب الفيزيائيين قدرية ما بعد



كان التناظر، في وقت من الأوقات، مرادفا للجمال - هذا ما أورده (3)، عليك عندما قال: «أيها النمر، أيها النمر المتوهج الساطع في غابة الليل، يا لعينيك وقواكمت الخالدة الذكر التي تصوغ تناظرك الرهيب»

كل التحولات التناظرية للمثلث زمرته يبدأ تاريخ «ستيوارت» بالرياضيات البابلية واليونانية. ويعرض مشاهيمها الأساسية بطرائق تسمح لطلبة السنوات

IS BEAUTY TRUTH AND TRUTH BEAUTY? (4)

(1) John Keats (1795-1825) شاعر إنكليزي بعد واحد من أعظم الشعراء الإنكليز

(2) One on a Greekish line

(3) وهو عالم رياضيات مشهور في جامعة واريك بانجلترا وكانت سابق لعمود، التسلية بالرياضيات، في هذه الحلة (4) مؤلف الكتاب وهو عالم رياضيات مشهور من جامعة واريك بانجلترا، وكانت سابق لعمود، التسلية بالرياضيات، في هذه الحلة

(5) Edna Millay (1892-1950) شاعرة وروائية أمريكية

(6) Bertrand Russell (1872-1970) فيلسوف بريطاني وعالم بالمنطق ومصطلح اجتماعي، حاز جائزة نوبل

في الأدب عام 1950

(7) rotational symmetry

(8) mirror reflection symmetry

(9) "identity" operation

WHY BEAUTY IS TRUTH: A HISTORY OF SYMMETRY

by Ian Stewart
Basic Books, 2007

لِمَ الجمال هو حقيقة: تاريخ التناظر

تأليف «إستيوارت»

لرياضيات، وهو يركز فيها على مفهوم التناظر فعندما تجري عملية على شيء رياضيائي بطريقة تجعله يبدو بعد العملية كما كان قبلها، تكون كشفت النقاب عن تناظر وثمة عملية بسيطة هي الدوران، فمهما حركت وقليت كرة التنس، علن تغير شكلها. ويقال عندئذ إنها تعرضت لتناظر دوراني فللحرف اللاتيني "H" تناظر دوراني قدره 180 درجة، لأن الحرف لا يتغير عندما تقلبه رأسا على عقب. للحرف أيضا تناظر انعكاسي مرآتي، لأنه يظهر على حاله دون تغيير عند النظر إلى صورته في المرآة وللصليب المعقوف تناظر دوراني قدره 90 درجة، لكنه يفترق إلى التناظر الانعكاسي المرآتي، لأن صورته في المرآة تغير اتجاهها ويرتبط أي نوع من التناظر «بزمرة» group ويشرح «ستيوارت» مفهوم الزمرة بأسلوب بسيط عن طريق النظر في العمليات التي تُجرى على مثلث متساوي الأضلاع فبالدورته بزواوية قدرها 60 درجة في أي اتجاه، فإنه يظهر على حاله وثمة عملية لكل عملية «عكسية» تلغي العملية الأولى. تصور رؤوس مثلث رمزنا إليها بالأحرف A, B, C إن تدوير المثلث بزواوية قدرها 60 باتجاه دوران عقارب الساعة يغير من مواقع الرؤوس وإذا اتبعنا هذا التدوير بتدوير مماثل بالاتجاه المعاكس، عدنا إلى المواقع الأصلية لتلك الرؤوس وإذا لم تفعل شيئا للمثلث، فإننا نسمي ذلك عملية «محايدة» وتؤلف مجموعة

عنوان كتاب «إستيوارت» (الذي أله إضافة إلى أكثر من 60 كتابا آخر) «مكتسب، بالطبع، من أحر بينين مبهمين من «قصيدة لـ كيتس»» هما

«الجمال هو الحقيقة، والحقيقة هي الجمال. هذا كل ما نعرفه على الأرض. وهذا كل ما أنت بحاجة إلى معرفته»

لكن ما هو الشيء، على الأرض الذي كان يعنيه «كيتس»؟ لقد وصف الشاعر «A» «البوت» هذين البيتين بأنهما «لا معنى لهما» وأنهما يحدثان «تشويها خطيرا في قصيدة جميلة». وقد استهل «إسماعيل» «نقده لشريط سيسماني بقوله: «أحدى أكبر مشكلات الفن... بل ربما أكبر مشكلاته على الإطلاق - هي أن الحقيقة ليست الجمال، والجمال ليس الحقيقة ثم إنه ليس صحيحا أن هذا كل ما نحن بحاجة إلى معرفته. ويهتم «ستيوارت» بالكيفية التي ينطبق بها بيتا شعر كيتس على الرياضيات. وقد كتبت «F» «ميلي» تقول «إقليدس»، وحده، هو من نظر إلى الجمال مجردا، وفيما يخص الرياضياتيين، فإن لهم موقفا من المبرهنات العظيمة والبراهين العظيمة، كبرهان إقليدس الأنيق، الذي يثبت أن مجموعة الأعداد الأولية غير منتهية، شبيهها بموقف «H» «راسل» منها. عندما وصف جمال هذه البرهات والبراهين بأنه «بارد وصارم»، وأنه مماثل لجمال الأعمال الخالدة في النحت

والفصول العشرة الأولى من كتاب «ستيوارت»، التي سردها بأسلوبه الهادئ الذي عُرف عنه، تعرض تاريخا حقيقيا

الأولى من المرحلة الثانوية بفهمها ومع متابعة قراءة هذا التاريخ، تصبح الرياضيات ببطء تقنية أكثر فاعلية. وبخاصة عندما يصل إلى **الأعداد العقدية** "complex numbers" وما نتج منها الأعداد فوق العقدية "وعدادات كائلي". ويختتم هذا التاريخ باكتشافات «إلي-إس-إف-إل» Saphus Lie، الذي سميت زمرة لي Lie groups باسمه، وبأعمال عالم رياضيات ألماني أقل شهرة، اسمه «د-كليفينكه» الذي صنف زمرة لي وفي هذا القسم التاريخي كله، يمزج «ستيوارت» بـ «نهارضة الرياضيات» في رسوم تخطيطية شائقة لأولئك الرياضياتيين الذين عرض إسهاماتهم ولا ينتقل «ستيوارت» إلى الفيزياء، ويشرح كيف أن التناظر ونظرية الزمر صاروا ذاتين ضروريين للفيزياء، إلا في النصف الثاني من الكتاب وثمة فصل عن «آينشتاين» يعرض مزيجاً رائعاً من نظرية النسبية الابتدائية وبعض التفصيلات عن حياة «آينشتاين» بعد ذلك. يقدم المؤلف نظرية الجسيمات particle theory والميكانيك الكمومي. وعدة صفحات عن **الأوتار الفائقة**، وهو موضوع يعد في هذه الأيام، من أكثر المواضيع إثارة في الفيزياء النظرية. و«ستيوارت» متشكك قليلاً في نظرية الأوتار، التي ترى في جميع الجسيمات الأساسية شعيرات دقيقة، لا يمكن تخيلها، من طاقة متذبذبة يمكن أن يكون لها نهاية مفتوحة أو مغلقة مثل شريط مطاطي. إنه لا يورد ذكر كتابين حديثين (روجعاً في عدد الشهر 2006/4 من مجلة ساينتيفيك أمريكان) يوجهان نقداً عريضاً إلى نظرية الأوتار فالمؤلف «سمولين» لكتاب *The Trouble with Physics* يشجب نظرية الأوتار، لأنها برأيه «ليست نظرية على الإطلاق»، بل مجرد خليط غير منظم من التخمينات الغريبة التي تبحث عن نظرية قابلة للحياة. أما كتاب «د-وويت» الذي عنوانه «ليست حتى خاطئة»، فقد اقتبس هذا العنوان الفيزيائي النمساوي العظيم «إي-إس-إف-إل» الذي وصف مرة نظرية بأنها سبيل للفاية بحيث أنها «ليست حتى خاطئة».

ترى، هل نظرية الأوتار جميلة حقاً؟ يظن خروجها أنها كذلك. ويعتقد «سمولين» و«وويت» أن استيعابها حديثاً ضمن تخمين أوسع وأغنى. اسمه النظرية M، حول الجمال السابق للأوتار إلى بُنى رياضية تشبه في قبحها الدوائر الصغيرة التي ابتكرها «بيليموس» لتفسير المدارات التي

تسلكها الكواكب في دوراتها حول الأرض. لنعد ثانية إلى أبيات الشاعر «كيس» السبينة السمعة في رأيي إن «د-سايمون» على حق فحتى البراهين الرياضية الجميلة يمكن أن تكون خاطئة ففي عام 1879، نشر السير «د-كمب» إثباتاً لمبرهنة خريطة الألوان الأربعة. وقد اعتُبر هذا الإثبات أنيقاً طوال عشر سنوات. لكنه، وللأسف، لم يكن كذلك. ثم نشر واضع الأحجيات الإنكليزي المشهور «د-دوديني» برهاناً خاطئاً أقصر بكثير، وحتى أزع بكثير.

وفي المجلة *The New Ambidextrous Universe* أكتب (المؤلف) عن النظرية الدوامية للذرات وقد كان لهذه المضمرة، التي كانت شائعة في القرن التاسع عشر، شبهة شديدة بنظرية الأوتار الفائقة. فكانت تؤكد أن الذرات لا تسبه النقاط، إذ إنها عرى دقيقة جداً من الطاقة تهتز بترددات مختلفة إنها دوامات صغيرة جداً موجودة في الأثير ether، وهو مادة صلصة لا احتكاك فيها. كان يُعتقد أنها تتخلل الفضاء كله. وللذرات بنية عقد ووصلات، تولد أشكالها واهتزازاتها خصائص المواد. وما إن تُخلق، حتى تدوم إلى الأبد.

وخلال بحثي في النظرية الدوامية للذرات، اطلعت على كثير من آراء فيزيائيين مرموقين، من ضمنهم «د-كلفن» و«د-ماكسويل»، ارتووا أن هذه النظرية كانت أجمل كثيراً من أن تكون حقيقية. وقد نُشرت أبحاث كثيرة، وأُلفت كتب عديدة في هذا الموضوع. هذا وقادت أبحاث الرياضياتي النمساوي «د-تيت» في الذرات الدوامية إلى إصرار تقدم في نظرية العقد. وقد تنبأ «تيت» بأن تطوير الأسس الرياضية لهذه النظرية سيستغرق عدة أجيال. ومع أن النظرية الدوامية تبدو جميلة، فقد بُنيت أنها طريق رائج لا يوصل إلى أي مكان.

ويختتم «ستيوارت» كتابه بحكمتين، أولاهما أن «الجمال في الفيزياء لا يؤكد الحقيقة تلقائياً، لكنه يساعد على الوصول إليها»، والأخرى هي أن «الجمال في الرياضيات هو بالضرورة حقيقي» - لأن كل ما هو خاطئ لا بد أن يكون قبيحاً - وأنا بدوري أوافق على صحة الدعوى الأولى دون الثانية. فقد رأينا أن برهاني «كمب» و«دوديني» كانا غاية في الجمال. لكنهما خاطئان. إلى ذلك، ثمة مبرهنات صيغت بكل بساطة، ولكن البراهين القبيحة قد تكون البراهين الوحيدة

الممكنة التي تثبت هذه المبرهنات

سأورد مثالين حديثي العهد فقد تطلب إثبات مبرهنة خريطة الألوان الأربعة استخراج نسخ ورقية حاسوبية بسرعة وكثافة عاليتين تجعلان مراجعتها غير ممكنة إلا بالاستعانة ببرامج حاسوبية أخرى. ومع أنه قد يوجد برهان جميل وارد فيما يسميه «د-إردوس» «كتاب الله» - وهو كتاب يعتقد «إردوس» أنه يشتمل على جميع مبرهنات علم الرياضيات، وأجمل البراهين عليها - فمن الممكن ألا يكون «كتاب الله» متضمناً هذا البرهان وينطبق هذا الكلام نفسه على إثبات «د-وايل» للمبرهنة الأخيرة لفيرما [انظر «مبرهنة فيرما الأخيرة»].

والما كان التناظر هو الموضوع الذي يربط بين صفحات كتاب تاريخ ستيوارت الرابع، فقد يكون من المناسب وضع مقدمة لهذا الكتاب هي مقطع شعري من قصيدة غنائية خالدة كتبها هراء نظمها «د-كارول» بعنوان *The Hunting of the Snake* هذا المقطع هو

اعلما بشارة الحشر علحها بالغراء ككتفا
بالحراد والشريط شغيا أحد الأشياء الرئيسة
مربيا للحفاظ على شكلها التناظري

عرض ومراجعة

Martin Gardener

واصل كتابة عمود الألعاب الرياضية، طوال 25 عاماً. وقد نُشر آخر كتاب له بعنوان *The Annotated Hunting of the Snake* في عام 2006 من قبل

- 1. complex numbers الأعداد المركبة
- 2. quaternions أو الأعداد الرباعية
- 3. cayley numbers أو bolyai numbers
- 4. Joseph Killing
- 5. superstrings
- 6. string theory
- 7. Lee Smolin
- 8. Peter Woit
- 9. not even wrong
- 10. Wolfgang Pauli
- 11. M-theory نظرية الأغشية (التغطية)
- 12. apocycles
- 13. vortex theory of atoms
- 14. motionless
- 15. links
- 16. knot theory
- 17. computer printout
- 18. God's book
- 19. M-theory



تنميات مستدامة

الصيقلانية إلى المساهمة في ذلك. وتبرعت بالأدوية شركات ميرك وكلاكسو سميث كلاين وجونسون أند جونسون وفايزر ونوفارتس وسانوفي باستور، إلى جانب مساهمات أخرى لها لمكافحة هذه الأمراض المختلفة. وتقدم هذه الشركات كلها دعماً الصادق لتوسيع برامج مكافحة

وقد أن الأوان الذي يجدر فيه بالحكومات أن تنضم إلى هذه الجهود أيضاً وقد خصصت حكومة الولايات المتحدة الأمريكية مؤخراً 15 مليون دولار لمكافحة الأمراض المدارية المهملة، وما هذه إلا خطوة البداية، إذ إنها أقل من عُشر المبلغ اللازم للحملة الشاملة من أجل إفريقيا والذي يصل إلى نحو 250 مليون دولار كل عام. إن أفضل الاستراتيجيات هي ربط مكافحة الأمراض المدارية المهملة بمكافحة الملاريا. وبهذا سيكون بإمكان الناموسيات المعالجة بمبيدات الحشرات والعاملين الصحيين في المجتمع أنفسهم المساهمة في مكافحة كل من الملاريا والأمراض المدارية المهملة؛ إذ إن للملاريا وللأمراض المدارية المهملة تداخلاً جغرافياً واضحاً في البلدان المدارية جميعها. وإلى جانب ذلك، فإن ملايين الأطفال في إفريقيا يعانون الإصابة بطفيليات متعددة في الوقت ذاته؛ فهم ضحية الملاريا ومجموعة من الأمراض المدارية المهملة الأخرى وتؤدي هذه العدوى المتعددة إلى أضرار وخيمة.

وينبغي لأصحاب القرار السياسي في بلادنا أن يفكروا ملياً بأن مكافحة الفعالة للأمراض تؤدي إلى تعزيز الاستقرار والرفاهية في العالم. بما ستسببه من تنمية اقتصادية أكثر مما تؤدي إليه الأساليب العسكرية بعد اندلاع الاضطرابات وقد كانت الإجراءات الموجهة لمكافحة الأمراض ذات فعالية كبيرة في الماضي. حتى في أشد البلدان فقراً فقد تم استئصال الجدري، كما انخفض عدد حالات شلل الأطفال بنسبة ألف عموماً كان عليه من قبل في جميع أرجاء العالم، بفضل الجهود التي بذلت في إعطاء اللقاحات، والتي قادها

الروناي الدولي¹ بشكل أساسي. إن مكافحة الشاملة للملاريا وللأمراض المدارية المهملة معا في جميع أرجاء إفريقيا لن تكلف أكثر من ثلاثة بلايين دولار كل عام، أو ما يعادل نفقات البنغاز في يومين فقط ولو خصص كل من البليون فرد في العالم الغني ثلاثة دولارات (وهي ثمن فنجان قهوة) كل عام في هذه القضية. لا يمكن إنقاذ ملايين الأطفال من الموت ومن الإعاقة سنوياً، ولتفادي العالم أيضاً أخطاراً جسيمة قد تنتج من تجاهل الأمراض واليأس الذي تسببه. وتساعد الشبكة العالمية لمكافحة الأمراض المدارية المهملة (www.gnndc.org) التي أنشئت حديثاً، على تحويل هذه القرص إلى حقيقة واقعة

المؤلف

Jeffrey D. Sachs

مدير معهد الأرض في جامعة كولومبيا.

(1) وهو شكل آخر من داء المثقبيات يصيب السبيل الناقل للطفيليات المعصية المثبته لانقباض القلب

الأمراض المدارية المهملة^١

يمكن مكافحة الأمراض الواسعة الانتشار في جميع أرجاء العالم الفقيرة بإتفاق ما يعادل المصروفات العسكرية لأيام قليلة.

يعج كوكبنا بالفرض الرائعة المستندة إلى العلم لتحسين رفاهية الإنسان بتكاليف زهيدة. ولكن هذه الفرض تغيب عن إدراك أصحاب القرار السياسي وعن الناس في غالب الأحيان ومن أفضل الأمثلة على ذلك معالجة مجموعة من الأمراض المدارية المهملة التي تسبب العجز وتقتل ملايين الناس. ولكنها غير معروفة جيداً بين الأوروبيين والأمريكيين

ويشير الخبراء اصطلاحياً إلى هذه الأمراض باسم «الأمراض المدارية المهملة»^٢، وهي أمراض معدية شديدة الوطأة، تنافس فيما تسببه من مرض وعجز وموت تأثيرات الإيدز والسل والملاريا (البرداء)، إلا أنها أقل شهرة منها. ويعود ذلك جزئياً إلى أنها أمراض لا تصيب إلا الفقراء في المناطق المدارية

وتتجم سبعة من هذه الأمراض عن عدوى الديدان، وهي الديدان الشصية hookworms، وداء الديدان المسنكة trichuriasis، وداء الأسكاريس

(الصفير) ascariasis، وداء البلهارسيا schistosomiasis، وداء الثنينات dracunculiasis أو الديدان الغينية guinea worms، وداء كلابيات الذنب onchocerciasis، وداء الفيلاريات اللمفية lymphatic filariasis وتنتج ثلاثة أمراض أخرى منها عن الأولي وهي داء الليشمانيا leishmaniasis وداء المثقبيات trypanosomiasis وداء شاكاس Chagas disease كما أن ثلاثة أمراض أخرى ذات منشأ جراثيمي وهي الجدازم leprosy و التراخوما (الحجر) trachoma وقرحة بورولي Buruli ulcer

ومن بين هذه الأمراض الثلاثة عشر نجد سبعة (وهي الأمراض السبعة الناجمة عن الديدان بالإضافة إلى الجدازم والتراخوما) لها تدخلات وقائية وعلاجية شافية قوية وزهيدة التكلفة وسهلة التنفيذ. وكما أوضح الرئيس «كارتر» من خلال قيادته الشخصية الراسخة طوال أكثر من عشرين سنة، فإن ترشيح الماء بالقماش الرقيق يمكن أن يقلل إلى حد كبير من عبء داء الثنينات. كما أن الناموسيات (الكلل) المعالجة بمبيدات الحشرات يمكنها أن تمنع انتقال داء الفيلاريات اللمفية وأن تخفض سرياً الملاريا خفضاً كبيراً

وباستثناء داء ديدان غينيا، تستطيع الأدوية أن تعالج جميع الديدان بالمداواة الروتينية القادرة على إبقاء عدد الديدان التي تصيب الفرد بالعدوى، في الحد الأدنى القابل للحمل فعلى سبيل المثال، ينبغي أن يعالج جميع أطفال المدارس في المناطق التي تنتشر فيها العدوى بالديدان والبلهارسيا، بالأدوية المضادة للديدان حتى ثلاث مرات في العام. وقد اندفعت الشركات المنتجة للمستحضرات

معرفة عملية

حشيش أرضيات الملاعب^(*)

العشب الطبيعي في مواجهة الحشيش البلاستيكي.

تشهد ساحات الملاعب الرياضية تنافسا قويا بين الأعشاب الطبيعية والحشائش الصناعية.

غالبا ما تؤدي ممارسات الرياضيين العابهم، وبخاصة في الأوقات التي تشهد موجات من المطر والبرد والجفاف، إلى تخریب أرضيات الملاعب العشبية وللتصدي للضرر الذي يلحق بحشائش هذه الأرضيات، اعتمد المسؤولون عن المحافظة عليها وصيانتها سبباً تحثية جديدة تسرع في تصريف المياه التجمعة، وتسخ في التربة تياراً من الهواء الساخن لتنشيط جذور تلك الأعشاب والمساعدة على نموها (انظر الشكل في أعلى اليمين).

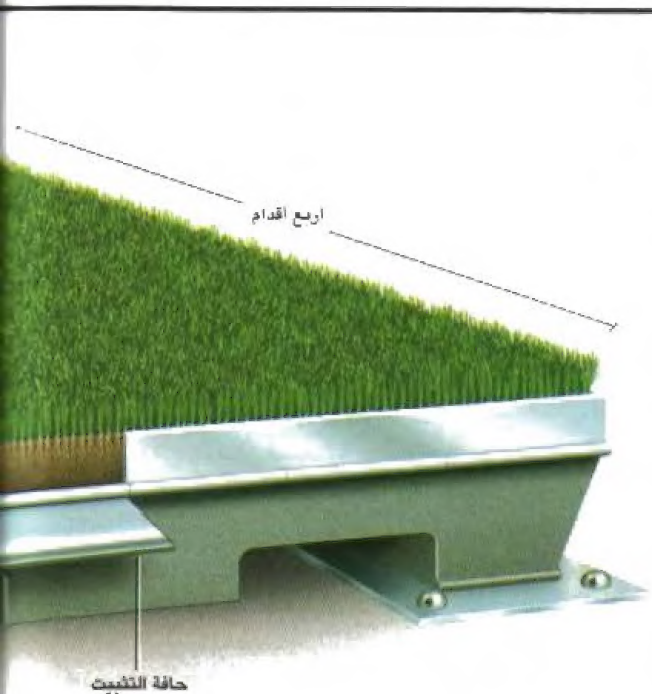
وفي أواخر ستينيات القرن الماضي بدأ استخدام الحشائش الصناعية في تغطية الأرضيات، وكان أول استخدام لها في ساحات مرصد هيوستن الفلكي، لذلك حملت اسماً تجارياً هو حشيش أرضيات المرصد ظل هذا الاسم مرادفاً لكافة أنواع الحشائش الصناعية المستخدمة في أرضيات الملاعب في جميع أرجاء البلاد، وامتد هذا الاستخدام ثلاثين عاماً على الرغم من شكوى اللاعبين من قساوة وطء أقدامهم عليها ومن تعرضتهم لإصابات رضية عند وقوعهم. وحمل العقد الماضي معه جيلاً جديداً من المنتجات، صنعتها شركات مثل الشركة فيلد ترف، وتم تبنيها واعتمادها على نطاق واسع، وأخذت هذه المنتجات تتباهى بخصلاتها البلاستيكية الأكثر نعومة وتماسكاً، والأسهل مداساً والأخف وطءاً، بسبب ما تحمله من حبيبات من المطاط، أو من المطاط والرمل، بين حنباها وأوراقها وبصلاتها (انظر الشكل في أسفل اليمين).

ويستمر الجدل قائماً حول طبيعة التغطية الأفضل لأرضيات الملاعب ففي صيف عام 2006 جددت جامعة بورديو أرضيات ملعب كرة القدم فيها مستخدمة سلالة جديدة من عشب برمودا، استُئِنِت خصيصاً لتحمل درجات حرارة أكثر برودة. يقول «ال كاييتوس» [المسؤول عن حشائش أرضيات الملاعب في الجامعة] «إن المواد الصناعية الجديدة جيدة، لكن لا شيء أفضل من العشب الطبيعي». ويؤكد المسؤولون عن الملاعب أن معظم اللاعبين يفضلون الأرض المغطاة بالعشب الطبيعي قبل تعرضه لأحوال مناخية شديدة، حيث يجعله الجفاف قاسياً، في حين يجعله المطر زلقاً وغير منتظم. يقول «إ. فراندينا» [المسؤول عن ملعب فريق «يوفالو بيلز» في نيويورك] «إن ما يمكن أن يقام على ملاعب الولايات الشمالية بعد الشهر التاسع من السنة، عندما يتوقف العشب عن النمو، هو ألعاب تجري في الطين، إذ تكون قد خسرت ملعبك لموسم كامل». لذلك اعتمدت منشأته، حيث يكثر تساقط الثلوج، على الحشيش الصناعي لسنوات عديدة.

وللتكلفة المالية دورها في إقرار اختيار أحد نوعي التغطية، حيث تراوح القيمة المتوسطة لتكلفة التغطية بحشيش صناعي ما بين 500 000 و 800 000 دولار، أو أكثر من ذلك، في حين تراوح هذه القيمة في حالة العشب الطبيعي ما بين 250 000 و 500 000 دولار. لكن هذا العشب يحتاج إلى تسميد وسقاية وتغشيب وتشذيب، ويبقى الخيار الشخصي معيار الفصل والإقرار. فقد استبدلت جامعة ولاية متشيكان في سنة 2002 وحدات من العشب الطبيعي متداخلة في ما بينها من صنع الشركة «جرين تك» بولاية جورجيا، بالحشيش الصناعي الذي كان يغطي أرضيات ملاعبها، رغم وجود منشأة مشهورة بصنع هذه الحشائش في ولاية متشيكان. كما يقول مؤسس الشركة «لأن العشب هو الأفضل». كما اختار «فراندينا» [المسؤول عن ملعب فريق يوفالو

بيلز] عند تجديد طبقة الحشيش الصناعي التي تغطي أرضيات الملعب في عام 2006، مورداً آخر لهذا الحشيش «لأن منتجته يعطي إحساساً أقصر حين وطئه والدوس عليه».

STADIUM TURF (*)



يُحمل الحشيش الصناعي، المصنوع على شكل رقعات متشابكة أو الممدد فوق صوان، على قاعدة من الحجارة المكسرة، ونعمل حشوة من حبيبات من المطاط أو من مغلف من الرمل والمطاط على حفظ وصلات الحشيش منتصبة وقائمة. أما الطبقات الظاهرية الداعمة فتثبت الصلوات في امكنتها وتسمح بتصريف المياه.

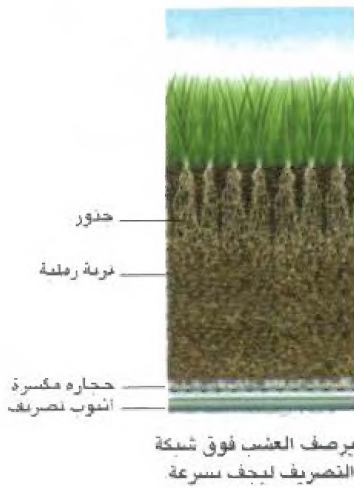
تيسط هذه الأرضية، البالغة كتلتها 17 مليون باوند، داخل صالة الملعب في أثناء اللعب، وتطوى في الأوقات الأخرى وتحفظ في المكان المخصص لها حيث يمكن لعشبيها أن ينمو. وبذلك يمكن أن تعقد في صالة الملعب لقاءات وحفلات موسيقية وسواها. كما أن سقف هذه الصالة، المصنوع من مواد صناعية شفافة، قابل للبسط والطي؛ وقد أقيمت فيها مباراة الكلية في كرة القدم في الشهر 2006/1.

■ الجروح والإصابات: يقول المدربون الرياضيون لفريق «بوفالو بيلز» كاتب هذه المقالة واحد منهم) إنهم لم يلاحظوا زيادة في تعرض اللاعبين للإصابة بالجروح على الأرضيات المغطاة بالمنتجات البلاستيكية الجديدة، وهو ما كان موضع انتقادهم في بعض الأحيان لتلك المغطاة بالمنتجات السابقة، وقد تسبب الأرضيات الجديدة أنواعا مختلفة من الرضوض التي تلحق بالأقدام والأرجل أكثر مما تسببه أرضيات العشب الطبيعي، إلا أنها لا نسب بالضرورة حروحا أكثر منها

■ طحن الإطارات: تأتي الحبيبات المطاطية التي تحشي بين أوراق الحشيش الصناعي من إطارات السيارات القديمة بالدرجة الأولى. يطحن هذا المطاط المسمى مطاط الجوار، حتى تصبح حبيباته بحجم حبات الخرز الصغيرة. وقد يبرد المطاط أثناء طحنه حتى درجات حرارة شديدة الانخفاض، ويعرف عندها بالمطاط القوي، ليشكل حبيبات بحجم حبات الرمل، تكون أكثر انتظاما في تكورها مما ينتج عيوات أشد تراسا وأكثر ثباتا.

■ العشب القابل للبسط والطي: في الشهر 2006/8، افتتحت جامعة «فليكس» ملعبا جديدا (هو في الوقت ذاته ملعب فريق «أريزونا كاردينالز» المحترف في كرة القدم الأمريكية)، وهو أول ملعب في الولايات المتحدة يمكن بسط أرضيته العشبية وطئها. تقوم هذه الأرضية على قاعدة طولها 403 أقدام وعرضها 234 قدما، قائمة على مجموعة من السكك الفولاذية المثبتة على أرض من الإسمنت المسلح.

يمكن للعشب الطبيعي أن ينمو في صوان يمكن تبديل امكنتها، كما يمكن تشييد بعضها ببعض



مزيج من الرمل والترية

حجارة مكسرة

قاعدة من البولي إيثيلين

قنوات لتصريف المياه بالجريان الطبيعي أو بالشفط، وللتسخين بالهواء المضغوط



تسند الأرضيات الصناعية، التي لا تجعل حشوات في داخلها، إلى الياف من النايلون مخاطلة على شبكة ظهارة مثبتة على وسادة كثة لامتصاص الصدمات. ترتبط الوسادة بقاعدة تجميع مصنوعة من المطاط والبولي يوريثان وبعض الفلزات.



اسألوا أهل الخبرة

كيف يقتفي الباحثون، عبر القرون، أثر دنا DNA الميتوكوندريات؟^(١)

وقبل أن يشرع الناس في السفر حول العالم، أدت التغيرات النادرة التي طرأت على دنا الميتوكوندريات إلى نشوء أنماط متفردة من دنا الميتوكوندريات في القارات المختلفة لذا، فإن باستطاعة العلماء أن يُرجعوا معظم أنماط دنا الميتوكوندريات المعاصرة إلى القارة الأصل، وذلك بناءً على قطعة من دنا الميتوكوندريات - تُعرف بالرمز HvrI - التي تعتبر المكان الأكثر ترحيحاً لحدوث الطفرات. وبإمكان العلماء تحليل القطعة HvrI ليجدوا سجلاً للطفرات السابقة كافة، ذلك أن دنا الميتوكوندريات تُقلد من الأم إلى ابنتها ومن جيل إلى آخر. وتُعد هذه الطفرات المتراكمة الأساس المميز لدنا الميتوكوندريات الذي يوجد على وجه التخصيص في كل قارة من القارات.

إضافة إلى الاختلافات الإقليمية في دنا الميتوكوندريات أيضاً، لذلك من المرجح أن يستقر المتحدرين من امرأة ما في أمكنة متجاورة؛ ومن ثم فإن الطفرات التي طرأت أصلاً على دنا الميتوكوندريات الخاص بها ستكون عموماً محصورة في المنطقة المحلية التي عاشت الأم فيها، وكلما رحل الناس من مكان لآخر، فإنهم يحملون معهم طبعية الحال دنا الميتوكوندريات الخاص بهم فمثلاً، الناس الذين ارتحلوا واسعا عبر الزمن في مشارف الصحراء الإفريقية، نتيجة لذلك، تشترك الأقوام المختلفة التي تقطن بلدان القارة الإفريقية في نصف دنا الميتوكوندريات تقريبا الخاص بالآفارقة جميعهم، كما برهنت على ذلك دراسة أجريت أخيراً



يجيب عن هذا السؤال إيلي [البيولوجي في جامعة ساوث كارولينا] بالآتي:

إذا تعرض دنا الميتوكوندريات mtDNA للتغير، فإنه لا يتغير كثيراً من جيل إلى جيل، أو أنه لا يتغير على الإطلاق، ويتنقل دنا الميتوكوندريات من الأم فقط إلى أطفالها، فالآباء لا يستطيعون توريث دنا الميتوكوندريات الخاص بهم

ومع أن الطفرات تحدث في دنا الميتوكوندريات، فإنها غالباً أقل من واحد في المئة في الأسلاف. لذا، فإن دنا الميتوكوندريات لشخص ما ربما يطابق مثيله في السلف الأمي المباشر (الذكري أو الأنثوي) قبل عشرة أجيال، وأنه بالإمكان استعمال هذا الإرث المشترك لربط الناس ببعضهم عبر فترة طويلة من الزمن. فمثلاً، مبدئياً إذا وُجد نمط خاص من دنا الميتوكوندريات في إفريقيا أمكننا عندئذ أن نستنتج أن الناس في أي مكان آخر من العالم الذين لديهم هذا النمط من دنا الميتوكوندريات لهم سلف أمي من إفريقيا أيضاً

وخلافاً لمعظم الدنا، فإن دنا الميتوكوندريات لا يوجد في صبغياتنا^(٢)، أو حتى في نواة خلايانا (الغلاف المركزي الذي يحتوي على الصبغيات جميعها). فالميتوكوندريات هي تراكيب صغيرة محددة بغشاء، توجد في جميع الخلايا النباتية والحيوانية، وهي مسؤولة عن توليد معظم الطاقة التي تحتاج إليها الخلية كي تقوم بوظائفها، وتحتوي كل متفردة على الدنا الخاص بها. وكذلك ماكينتها الذاتية لبناء البروتين

كيف تتشكل القواقع البحرية، أو كيف تتشكل قوقعة الحلزون؟^(٣)

أو ما يعرف بالصدف (عرق اللؤلؤ naere). وتشبه هذه السيرورة إرساء شبكة الفولاذ (البروتين) في عمارة الأبنية، ثم صب الإسمنت (المعادن) فوقها.

وفي حين أن عظام الحيوانات البرية، كالإنسان مثلاً، تنمو مع نمو الكائن الحي، فإن على الحلزون والبطيخوس مثلاً أن يزيدا تدريجياً من حجم قوقعتيهما بأن يضيفا مواد جديدة إلى حافات القوقعة فمثلاً، يتوضع القسم الأكثر حداثة من قوقعة الحلزون حول الجوف، حيث يُبرز الرخوي جسمه إلى الخارج؛ والحافة الخارجية للرداء تضيف باستمرار قوقعة جديدة في هذه المناسبة

يجيب عن هذا السؤال <F>هورن</F> [البيولوجي في جامعة تكساس الولاياتية] بالآتي:

إن القواقع التي هي الهيكل الخارجي للرخويات - كالبطيخوس clam والمحار oyster والحلزون، وغيرها كثير - لا تتألف من خلايا تشكل البنى الحيوانية النمطية. إنها تتركب بصورة رئيسية من كربونات الكالسيوم مع كمية ضئيلة من البروتين تقل عادة عن 2 في المئة.

إن نسيج الرداء mantle، الذي يتوضع تحت القوقعة ويكون على تماس معها، يفرز البروتين والمعادن التي تشكل القوقعة في البداية، تتشكل طبقة غير متكلسة من مادة الكونشيوлин conchiolin: مادة تتألف من البروتين والكيتين chitin والبيكتين هو بوليمر^(٤) مقو يُنتج بصورة طبيعية، ثم تتشكل الطبقة المشورية ذات التكلس الشديد، ويُفرز أخيراً الطبقة اللؤلؤية للاماعة.

(١) How do researchers trace mitochondrial DNA over centuries?

(٢) How are seashells or snail shells formed?

(٣) جمع ميتوكوندريا

(٤) أو مكتور، مضائر، متبلمر

(٥) أو كروموزوماتنا

ضربة قاضية في درجات الحرارة العالية^(١)

«غراء ان» محتملان في الموصلية الفائقة قُضي أمرهما.

المواد التي تدعى زائدة التطعيم overdoped والتي عدد ذرات الأكسجين فيها أكبر من العدد الأمثل optimal للموصلية الفائقة (تتصف المواد الزائدة التطعيم بالموصلية الفائقة إنما عند درجات حرارة تزداد انخفاضاً كلما ازداد التطعيم) وهذا يستبعد كون الفونونات سبب الذروة والفتلة: فالفونونات يجب أن تبقى موجودة في جميع المواد، وحتى في الزائدة التطعيم منها. كما لا يمكن للفونونات أن تكون مسؤولة عن الخلفية العريضة، لو كان كذلك، لاختفت الخلفية عند الترددات العالية، وهذا ما لا يحدث.

كانت العلاقة التي تربط سلوك الذروة الحادة - أي الشروط التي تظهر فيها الذروة في المنحنى البياني - وما كان يُتوقع من رنين مغنطيسي جيدة، لكن هناك مفاجأة: اختفاء الذروة في المواد الزائدة التطعيم التي لا تزال فائقة الموصلية. ونتيجة لذلك لا يمكنها أن تكون سبب الموصلية الفائقة.

وتبقى مسألة الخلفية العريضة، التي يعتقد «تيموسك» ومعاونوه أنها على الأرجح مؤشر إلى السيرورة التي ترتبط بها الإلكترونات لتشكل أزواجاً. كأنه ما كانت هذه العملية ويحاج «M. نورمان» [عالم المواد في مختبر أركون الوطني] أنه على الرغم من أن الغراء لا يمكن أن يكون الرنين المغنطيسي الذي أشبع بحثاً. فثمة أسباب قوية تدعو للاعتقاد أنه ذو طبيعة مغنطيسية. وهكذا يستمر البحث، فقد هُزم متنافسان بالضربة القاضية ولكن الأحجية باقية.

HIGH-TEMP KNOCKOUT (١٠)

high critical temperature high TC أي درجة حرارة حرجة عالية

BCS هي الأحرف الأولى من أسماء العلماء Schrieffer و Cooper و Bardeen

kink = tight curl, twist or bend. وتعني فتلة أو طبة أو كوية

background (١١) (التحرير)

الفونونات (وقد وضع هذا الحد على درجة الحرارة الحرجة مؤخراً في موضع التساؤل). وثانيها أن استبدال نظائر isotopes مختلفة في موصل فائق من النوع BCS يغير مواصفات الفونونات (فالذرات الأثقل يجب أن تهتز بصورة أبطأ) وهو نتيجة لذلك يغير بدقة درجة الحرارة الحرجة بمقدار معين. ولكن هذه تتغير بمقادير مختلفة في الموصلات الفائقة العالية الحرارة. وهناك أيضاً خواص تفصيلية أخرى يصعب تفسيرها في إطار النظرية BCS

وكان الفيزيائيون يدرسون مؤخراً فتلة "kink"، أو انحناء bend، تظهر في الخطوط البيانية التي تُعبّر عن طاقة الإلكترونات المتزاوجة كمفتاح لحل لغز القوة المسببة لتجمعها أزواجاً. وقد ربط العديد من الباحثين الفتلة بنوع من حالة جماعية بين الإلكترونات تدعى الرنين (التجاوب) المغنطيسي magnetic resonance. فيما قدم باحثون مجريون حججاً مفادها أن الفونونات هي سبب الفتلة - وهذه نتيجة يمكن أن تقلب الحكمة التقليدية حول الموصلات الفائقة غير التقليدية

ويبدو أن نتائج التجارب التي أجريت في جامعة ماك ماستر وفي مختبر بروكهافن الوطني، اسقطت الرنين المغنطيسي والفونونات كليهما من كونهما الغراء. فقد عُرض الموصل الفائق في تجربة هذه المجموعة إلى ضوء تحت الأحمر (IR)، واعتبرت كمية الضوء المنتثر عند كل طول موجي قياساً لطاقة الزوج الإلكتروني. ووجد الفيزيائيون، بقيادة «T. تيموسك» [من جامعة ماك ماستر] ذروة حادة في الضوء المنتثر عند تردد محدد وقائمة فوق خلفية انتشار عريضة عند جميع الترددات. من الواضح أن للذروة الحادة علاقة بالفتلة التي تلاحظ أيضاً في تجارب أخرى، لكنها اختفت في

خلال الثمانين عشرة سنة منذ اكتشافها بقيت الموصلات الفائقة العالية الحرارة "أحجية تُوصّل هذه المواد الخزفية، المؤلفة من أكسيد النحاس، الكهربائي، من دون أن تفقد شيئاً عند درجات حرارة أعلى كثيراً من تلك اللازمة للموصلات الفائقة التقليدية، مع أن هذه الحرارة لا تزال أدنى من درجة الحرارة العادية بكثير ويعرف الفيزيائيون أن سبب الموصلية الفائقة في كلا النوعين من المواد هو إلكترونات متزاوجة ومتجمعة ككل في حالة كمومية جماعية واحدة. لكنهم لا يعرفون ما هو «الغراء» glue الذي يسبب تجمعها أزواجاً في الموصلات الفائقة العالية الحرارة. وقد اقترحت أفكار عديدة لكنه لم يُبرهن على أي منها. وترى دراسة تجريبية حديثة أن بالإمكان إقصاء احتمالين نظريين مهمين

ويحقق التأثير الحاسم بين الإلكترونات بواسطة اهتزازات شبكية الأيونات الموجبة latic of positive ions للمعدن في الموصلات الفائقة المنخفضة الحرارة: إذ يشوه إلكترون ما الشبكة لدى مروره فيها، وبعد انقضاء ميكرونات عدة يؤثر التشوه في الإلكترون الشريك عند دخوله الشبكة. وتدعى اهتزازات الشبكة فونونات phonons وهي تسلك سلوك الجسيمات بالضبط، ويولد إصدار الإلكترونات وامتصاصها لها تأثيراً تجاذبياً ضعيفاً. ويسمى الفيزيائيون هذا النموذج النظرية BCS باسم العلماء الذين استنبطوها رياضياتياً في عام 1957.

وبعد اكتشاف الموصلات الفائقة العالية الحرارة في عام 1986، سارع الفيزيائيون إلى اعتبار أن النظرية البسيطة BCS لا يمكنها أن تفسر سلوك المواد الجديدة وأول ما في الأمر هو أن الاهتزازات الحرارية الناجمة عن درجات الحرارة العالية يجب أن تقهر أي تجاذب تولده